

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LARA CLÍMACO DE MELO

SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA  
MISTA EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS

CURITIBA  
2015

LARA CLÍMACO DE MELO

SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA  
MISTA EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Florestal, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ph.D. Carlos Roberto Sanquetta

Co-Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2015

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR  
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Melo, Lara Clímaco de

Simulação da distribuição de espécies da floresta ombrófila mista em função de possíveis cenários climáticos / Lara Clímaco de Melo. – 2015  
188 f. : il.

Orientador: Prof. Ph.D. Carlos Roberto Sanquetta

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 19/02/2015.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Vegetação e clima. 2. Mudanças climáticas. 3. Paraná – Clima. 4. Teses. I. Sanquetta, Carlos Roberto. II. Corte, Ana Paula Dalla. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 551.6  
CDU – 634.0.111

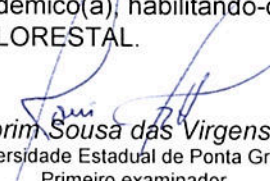



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**PARECER**

Defesa nº. 1079

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Lara Climaco de Melo* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**SIMULAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.

  
**Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho**  
Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Primeiro examinador

  
**Dr. Christopher Thomas Blum**  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

  
**Dr. Carlos Roberto Sanquetta**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 19 de fevereiro de 2015.

  
**Antonio Carlos Batista**  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

*Aos meus pais,  
Zu e Márcio,  
Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gratidão à vida, em suas diversas formas, e a Deus, por me permitir ser parte desta.

À Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, pela sua excelência.

Aos professores da pós-graduação, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela viabilidade da bolsa de estudos.

Ao professor Carlos Roberto Sanquetta, pelas oportunidades, confiança e orientação.

À professora Ana Paula Dalla Corte, pelas múltiplas ajudas.

Aos professores Christopher Thomas Blum, Jorim Sousa e Tony Sampaio, pelos direcionamentos.

Às professoras parceiras, Patrícia Barreto e Daíse Bernardino, exemplos de amizade e trabalho.

Aos meus pais, Zu e Márcio, pelo amor incondicional, fé e apoio. Aos meus irmãos e sobrinho queridos, obrigada pelos sorrisos, amizade e incentivo, amo muito vocês. Agradeço igualmente a todos os meus familiares – avós, tias, primos - que de muitas formas se fizeram presentes e importantes ao alcance dessa etapa. Tia Tina, pelo imensurável apoio, muito obrigada!

Às boas amizades que Curitiba me trouxe, que tornaram a vida muito mais fácil, alegre e prazerosa. Obrigada!

À minha família curitibana, Pederneiras, não tenho palavras para expressar o carinho e gratidão por cada um de vocês. À Joana, por tudo.

Ao meu companheiro de jornada, Pedro, pelo amor e paciência, e por fazer meus dias bonitos.

Às Promotoras Legais Populares, gratidão por essa luta que alimentou minha alma e transformou minha visão de mundo.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço pela convivência e compartilhamento cotidianos.

A todos que de alguma forma participaram nesta caminhada, gratidão!

“Ninguém nasce feito: é experimentando-nos no mundo que nós nos fazemos.”

Paulo Freire

## RESUMO

Explorando a relação direta entre o clima e a floresta observa-se que a existência de diferentes condições climáticas em associação com outros fatores define a forma como a vegetação se distribui no planeta. Com o objetivo de conhecer o componente climático do Paraná e seus impactos na distribuição da Floresta Ombrófila Mista, esse trabalho buscou simular a distribuição espacial e temporal de espécies florestais como indicativo para medidas de manejo e conservação. A modelagem utilizada relacionou o clima do Estado com dados de ocorrência original de 10 espécies ocorrente nesta floresta, usando como ferramentas o software PGECLIMA\_R e a geoestatística. Dividiu-se esse trabalho em dois eixos principais e dependentes: o primeiro visou mapear as variáveis temperatura máxima, média e mínima no Paraná no período de 1970 a 2010, e a partir desses dados simulou-se cenários futuros de aumento de temperatura (0,3°C; 2,4°C; 4,8°C; 6,0°C) para 2100, tendo como base as projeções propostas pelo IPCC. O segundo eixo enfocou a resposta das espécies estudadas caso os cenários preditos venham a ocorrer; dessa forma, quantificou-se e delimitou-se as áreas de potencial retração dessas espécies florestais. Os resultados demonstraram um aquecimento no Paraná desde 1970 a 2010, representado por uma elevação sucessiva nas temperaturas. As projeções dos 4 cenários climáticos para 2100 mostrou-se coerente com a literatura e permitiu a indicação dos métodos utilizados para a projeção do fenômeno em estudo. Quanto ao impacto desses cenários nas espécies avaliadas, todas entrariam em processo de retração geográfica em função de aumentos nas temperaturas do Paraná. A *Ocotea porosa*, *Sebastiania commersoniana* e *Piptocarpha angustifolia* podem ser extintos caso não haja uma reversibilidade da condição de elevação das temperaturas no Estado. As demais estariam criticamente em perigo de extinção, ou em perigo de extinção, a exceção do *Handroanthus albus*, que estaria vulnerável, demonstrando relativa resiliência aos aumentos de temperatura avaliados. Recomenda-se a formulação de políticas públicas de mitigação e adaptação dos ecossistemas florestais às mudanças climáticas previstas, bem como a ampliação de estudos que abranjam todas as tipologias florestais, subsidiando potenciais ações.

Palavras-Chave: Aquecimento global. Retração geográfica. Mitigação. Manejo florestal.



## ABSTRACT

Exploring the direct relation between the climate and the forest, it is observed that the existence of different climatic conditions, in association with other factors, defines how the vegetation is distributed on the planet. With the objective to understand the climate component of Parana and their impacts on the distribution of Mixed Ombrophilous Forest, this work aimed to simulate the spatial and temporal distribution of forest species as indicative for management and conservation. The modeling used related the climate at the State with data of the original occurrence of 10 species representative of that forest, using as tools the software PGECLIMA\_R and geostatistics. The work it was divides on two main and dependent axes: the first, aimed to map the variables temperature maximum, average and minimum in Parana from 1970 to 2010, and from these data simulate future scenarios of temperature rise (0.3°C; 2.4°C; 4.8°C; 6.0°C) for 2100, have base in projections proposed by IPCC. The second axis focused on the response of the species studied in case of the scenarios predicted occur; thus, it was quantified and delineated the areas of potential retraction of these forest species. The results demonstrated a warming in Parana from 1970 to 2010, represented by a gradual increase in temperatures of the State. The projections of the 4 climate scenarios for 2100 proved to be consistent with the literature and allowed the indication of the methods used for the projection of the phenomenon studied. In relation of the impact of these scenarios on the species evaluated, all of them would be in process of geographical retract in function of the rises in temperatures of Parana. The *Ocotea porosa*, *Sebastiania commersoniana* and *Piptocarpha angustifolia* may be extinct if there is no reversibility of condition of raising temperatures. The others species would be critically endangered or in danger of extinction, as exception of *Handroanthus albus*, which would be vulnerable, showing on resiliency to temperature increases assessed. It is recommended the formulation of public policies of mitigation and adaptation of forest ecosystems to climate change, as well as the extension of studies covering all forest typologies, subsidizing potential actions.

Key-words: Global Warming. Geographical Retraction. Mitigation. Forest Management.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CENÁRIOS DE TEMPERATURA CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO PARA O PARANÁ.....	46
TABELA 2 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS DE TEMPERATURA MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA CORRESPONDENTES AO PERÍODO TOTAL DO ESTUDO (1970-2010) PARA O PARANÁ.....	47
TABELA 3 -	VALIDAÇÃO PELO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DAS SIMULAÇÕES DE TEMPERATURA MÍNIMA GERADAS EM DIAS CHUVOSOS E SECOS PELO PGECLIMA_R.....	50
TABELA 4 -	ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS MODELOS TESTADOS PARA INTERPOLAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA PELA KRIGAGEM ORDINÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ.....	51
TABELA 5 -	ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS INTERPOLADORES COKRIGAGEM E KRIGAGEM ORDINÁRIA USANDO O MODELO EXPONENCIAL PARA ESPACIALIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA NO ESTADO DO PARANÁ.....	54
TABELA 6 -	ESPÉCIES DA FOM ESCOLHIDAS PARA AVALIAÇÃO QUANTO À DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS DO CLIMA.....	57
TABELA 7 -	FAIXAS DE TEMPERATURAS E PRECIPITAÇÃO CORRESPONDENTES À ECOLOGIA DAS ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	91
TABELA 8 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	100
TABELA 9 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Mimosa scabrella</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	107
TABELA 10 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Sebastiania commersoniana</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	113
TABELA 11 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Ocotea catharinensis</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	118
TABELA 12 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Ocotea odorifera</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	122
TABELA 13 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Ilex paraguariensis</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	128
TABELA 14 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Ocotea porosa</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	134

TABELA 15 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Handroanthus albus</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	139
TABELA 16 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Podocarpus lambertii</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	145
TABELA 17 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE <i>Piptocarpha angustifolia</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	151

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EFEITO ESTUFA.....	23
FIGURA 2 -	EMISSIONES GLOBAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) POR FONTE EMISSORA CONSIDERANDO O PERÍODO DE 1970-2004.....	25
FIGURA 3 -	ANOMALIAS DE TEMPERATURA TERRESTRE E OCEÂNICA EM ABRIL DE 2014 COMPARADO AO ANO BASE DE 1880.....	27
FIGURA 4 -	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE MODELOS CLIMÁTICOS.....	32
FIGURA 5 -	PROJEÇÕES PARA O BIOMA MATA ATLÂNTICA PARA O PERÍODOS (2011-2040), (2040-2070) E (2071-2100) DO SÉCULO XXI, OBTIDOS PELOS RESULTADOS CIENTÍFICOS DE MODELAGEM GLOBAL E REGIONAL.....	34
FIGURA 6 -	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ.....	36
FIGURA 7 -	CLASSIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ.....	38
FIGURA 8 -	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS 40 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO PARANÁ, E DAS 5 ESTAÇÕES COMPLEMENTARES, LOCALIZADAS NOS ESTADOS DE MATO GROSSO DO SUL, SÃO PAULO E SANTA CATARINA.....	39
FIGURA 9 -	ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS BASE PARA O MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DO PARANÁ.....	42
FIGURA 10 -	GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE A ALTITUDE E AS TEMPERATURAS MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA PARA AS DÉCADAS DE 1970, 1980, 1990 E 2000, RESPECTIVAMENTE.....	48
FIGURA 11 -	GRÁFICO DE RELAÇÃO DAS DIFERENÇAS ENTRE OS TOTAIS HISTÓRICOS E ESTIMADOS DA PRECIPITAÇÃO E A TEMPERATURA MÉDIA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 NO PARANÁ.....	49
FIGURA 12 -	GRÁFICO DOS ERROS ASSOCIADOS AOS MODELOS ESFÉRICO, GAUSSIANO E EXPONENCIAL PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÍNIMA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 PARA O PARANÁ.....	51
FIGURA 13 -	GRÁFICO DOS ERROS ASSOCIADOS AOS MODELOS ESFÉRICO, GAUSSIANO E EXPONENCIAL PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 PARA O PARANÁ.....	52
FIGURA 14 -	GRÁFICO DOS ERROS ASSOCIADOS AOS MODELOS ESFÉRICO, GAUSSIANO E EXPONENCIAL PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 PARA O PARANÁ.....	53

FIGURA 15 -	ERROS ASSOCIADOS ÀS ESTIMATIVAS DA TEMPERATURA MÉDIA PELO INTERPOLADOR DE COKRIAGAGEM E KRIGAGEM ORDINÁRIA EM RELAÇÃO AOS VALORES REAIS NO PERÍODO DE 1970 A 2010.....	55
FIGURA 16 -	VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS SEPARADOS PARA APLICAÇÃO DA COKRIGAGEM.....	56
FIGURA 17 -	MAPEAMENTO DA TEMPERATURA MÍNIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ DE 1970 A 2010.....	57
FIGURA 18 -	MAPEAMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA PARA O ESTADO DO PARANÁ DE 1970 A 2010.....	58
FIGURA 19 -	MAPEAMENTO DA TEMPERATURA MÁXIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ DE 1970 A 2010.....	59
FIGURA 20 -	PROJEÇÃO DE AUMENTO DE 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C NA TEMPERATURA MÍNIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100.....	62
FIGURA 21 -	PROJEÇÃO DE AUMENTO DE 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C NA TEMPERATURA MÉDIA PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100.....	63
FIGURA 22 -	PROJEÇÃO DE AUMENTO DE 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C NA TEMPERATURA MÁXIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100.....	64
FIGURA 23 -	PROJEÇÕES DE ANOMALIAS DE TEMPERATURA PARA SON (SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO - PRIMAVERA) COM REFERÊNCIA AO PERÍODO BASE DE 1961-1990 PARA A AMÉRICA DO SUL. AS PREVISÕES SÃO DO MODELO HADCM3 PARA O CENÁRIO B2 (OTIMISTA) .....	66
FIGURA 24 -	PROJEÇÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA MÍNIMA EM 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100.....	67
FIGURA 25 -	PROJEÇÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA EM 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100.....	68
FIGURA 26 -	PROJEÇÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA MÁXIMA EM 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100.....	69
FIGURA 27 -	ATLAS DOS REMANESCENTES ATUAIS DA MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA.....	74
FIGURA 28 -	TIPOLOGIAS FLORESTAIS PRESENTES NO BRASIL. DESTAQUE PARA A DISTRIBUIÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NOS ESTADOS DO PARANÁ, SANTA CATARINA, RIO GRANDE DO SUL (EM MAIOR PROPORÇÃO) E SÃO PAULO, MINAS GERAIS E RIO DE JANEIRO (MENOR OCORRÊNCIA) .....	77
FIGURA 29 -	PERFIL ESQUEMÁTICO DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ.....	78
FIGURA 30 -	VARIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E LATITUDE.....	81

FIGURA 31 -	DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO PRESENTE NA AMÉRICA DO SUL EM DOIS PERÍODOS DE TEMPO: A) SECO E FRIO E B) ÚMIDO E QUENTE.....	82
FIGURA 32 -	DISTRIBUIÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA SOBRE A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN.....	86
FIGURA 33 -	PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 0,3°C.....	94
FIGURA 34 -	PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 6,0°C.....	94
FIGURA 35 -	PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 2,4°C.....	95
FIGURA 36 -	PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 4,8°C.....	95
FIGURA 37 -	PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DA VARIANTE DE TEMPERATURA.....	96
FIGURA 38 -	ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DAS ESPÉCIES DENTRO DA COMBINAÇÃO VARIANTE DE TEMPERATURA X CENÁRIO DE TEMPERATURA PARA O PARANÁ.....	99
FIGURA 39 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	100
FIGURA 40 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	103
FIGURA 41 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	104
FIGURA 42 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	105
FIGURA 43 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Mimosa scabrella</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	107
FIGURA 44 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Mimosa scabrella</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	109
FIGURA 45 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Mimosa scabrella</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	110
FIGURA 46 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Mimosa scabrella</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	111

FIGURA 47 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Sebastiania commersoniana</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	112
FIGURA 48 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Sebastiania commersoniana</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	114
FIGURA 49 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Sebastiania commersoniana</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	115
FIGURA 50 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Sebastiania commersoniana</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	116
FIGURA 51 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Ocotea catharinensis</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	117
FIGURA 52 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea catharinensis</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	119
FIGURA 53 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea catharinensis</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	120
FIGURA 54 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea catharinensis</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	121
FIGURA 55 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Ocotea odorifera</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	122
FIGURA 56 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea odorifera</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	124
FIGURA 57 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea odorifera</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	125
FIGURA 58 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea odorifera</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	126
FIGURA 59 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Ilex paraguariensis</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	127
FIGURA 60 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ilex paraguariensis</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	130
FIGURA 61 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ilex paraguariensis</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	131

FIGURA 62 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ilex paraguariensis</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	132
FIGURA 63 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Ocotea porosa</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	133
FIGURA 64 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea porosa</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	136
FIGURA 65 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea porosa</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	137
FIGURA 66 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Ocotea porosa</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	138
FIGURA 67 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Handroanthus albus</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	139
FIGURA 68 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Handroanthus albus</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	141
FIGURA 69 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Handroanthus albus</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	142
FIGURA 70 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Handroanthus albus</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	143
FIGURA 71 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Podocarpus lambertii</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	144
FIGURA 72 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Podocarpus lambertii</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	147
FIGURA 73 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Podocarpus lambertii</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	148
FIGURA 74 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Podocarpus lambertii</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	149
FIGURA 75 -	ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE <i>Piptocarpha angustifolia</i> EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ.....	150
FIGURA 76 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Piptocarpha angustifolia</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100.....	152



FIGURA 77 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Piptocarpha angustifolia</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100.....	153
FIGURA 78 -	PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE <i>Piptocarpha angustifolia</i> FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 210.....	155

## SUMÁRIO

<b>1 ASPECTOS GERAIS.....</b>	<b>18</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	18
1.2 OBJETIVOS .....	22
<b>2 MAPEAMENTO E SIMULAÇÃO DO CLIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ.....</b>	<b>23</b>
2.1 REVISÃO DE LITERATURA .....	23
2.1.1 Mudanças Climáticas Globais .....	23
2.1.2 Vulnerabilidade, impactos, adaptação e mitigação às mudanças do clima .....	28
2.1.3 Modelagem e desenvolvimento da Ciência do Clima.....	32
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	36
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
2.3.1 Análise exploratória dos dados.....	47
2.3.2 Mapeamento e Simulação do Clima.....	50
2.4 CONCLUSÕES .....	72
<b>3 AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS .....</b>	<b>73</b>
3.1 REVISÃO DE LITERATURA .....	73
3.1.1 Biodiversidade e Exploração da Mata Atlântica .....	73
3.1.2 Floresta Ombrófila Mista: Estrutura, Manejo e Conservação.....	76
3.1.3 Relação clima-floresta e sua função na distribuição geográfica de espécies.....	80
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	85
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
3.3.1 Panoramas climáticos associados às espécies florestais....	93
3.3.2 Potenciais impactos das mudanças do clima na distribuição de espécies da Floresta Ombrófila Mista .....	99
3.4 CONCLUSÕES .....	156
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>157</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>159</b>

## 1. ASPECTOS GERAIS

### 1.1 INTRODUÇÃO

Alvo de preocupações e discussões mundiais, a intensificação do efeito estufa natural, consequência do excesso de emissões de gases de efeito estufa (GEE) como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), tem demandado estudos que contextualizem essa temática, de forma a ampliar o conhecimento, visando subsidiar ações de controle e adaptação, bem como o estabelecimento de políticas direcionadas à mitigação dos impactos do aquecimento global mundial.

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2012) afirma que não há dúvidas de que a temperatura média global da atmosfera aumentou com grande amplitude nos últimos 40 anos, contribuindo na alteração do clima em nível regional e global. A Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2013) indicou que o período de 2001-2010 representou a década mais quente da história, desde que se iniciaram as medições, por volta de 1850.

Não há, no entanto, um consenso acerca das causas e consequências do aquecimento global, que para uma corrente de cientistas constitui um processo natural. Do ponto de vista desses pesquisadores, os climas terrestres são dependentes de variações, conhecidas como Ciclos de Milankovitch, que operam em intervalos, controlando o percentual de radiação solar que chega ao planeta e produzindo seriadas eras glaciais intercaladas por períodos interglaciais mais quentes, sequências estas que acontecem por milhões de anos (OLIVEIRA, 2008).

Essa linha de pensamento considera que ao longo de sua existência o clima do planeta variou naturalmente, nunca permaneceu em equilíbrio, sendo influenciado por agentes externos, a exemplo das atividades solar e vulcânica e parâmetros orbitais da terra, sendo a participação antrópica muito pequena (MOLION, 2005). Netto (2013) acredita que a ciência, como notícia, pode ser produzida por interesses econômicos, e que a discussão do aquecimento global está baseada nessa questão, considerando o confronto entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Com mesma ideia, Maruyama (2009) avalia que a teoria do  $\text{CO}_2$  ser o causador do aquecimento global relaciona-se com a adoção desse discurso pela mídia internacional.

Na posição que corrobora com o pressuposto indicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), credita-se que o agravamento das alterações no clima se deu por um conjunto de elementos antrópicos, que passaram a resultar em implicações mais nítidas a partir da revolução industrial, iniciada em 1750, com o aumento das emissões de GEE (MARCATTO e LIMA, 2013). Em complemento, Flizikowski (2012) afirma que esses gases são emitidos por meio da expansão dos setores industrial, agrícola e de transporte, bem como pelo desmatamento de novas áreas para ocupação e uso da terra para as diferentes atividades.

Em função da exploração dos recursos naturais, resultando em mudanças de uso e cobertura do solo, observa-se a ocorrência frequente de fragmentação e perda de habitats, invasão de áreas naturais por espécies exóticas, poluição, esgotamento de água, altos índices demográficos e pobreza, agravando o processo de retenção de calor na atmosfera e constituindo um quadro de ameaça à biodiversidade mundial (GODOY, 2009). As respostas ambientais, como limitação dos ambientes naturais, têm ocorrido cada vez mais nas diversas partes do mundo, representadas pelo degelo de calotas polares, enchentes e secas extremas, inversões térmicas, inundações, entre outros incidentes (MARCATTO e LIMA, 2013).

Com o objetivo de encontrar soluções, na ponderação a respeito das incertezas relacionadas às causas dos efeitos danosos do aquecimento global, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC) tiveram a iniciativa de conduzir conferências e discussões ao longo dos anos, que resultassem na delimitação de metodologias para regulamentar a redução de emissões de GEE. Essa premissa marcou o princípio da precaução, demonstrado pela incompatibilidade real do atual processo de desenvolvimento com a capacidade ambiental de absorver os crescentes impactos (CHANG, 2002).

Entre as conferências realizadas, denominadas de Conferências das Partes (COP), tem destaque a Conferência de número 3 (COP-3), ocorrida em 1997 no Japão, onde foi elaborado o Protocolo de Quioto, um acordo internacional em que se encontraram definidas metas de redução das emissões de GEE. Em complemento aos compromissos de redução média nas emissões, o Protocolo instituiu ainda mecanismos objetivando flexibilizar o alcance dessas metas, entre eles, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que previa ajuda aos países compromissados a alcançarem as metas de redução de emissões (MMA, 2014).

Através dessas conferências mundiais, ampliou-se as ferramentas e ações para a redução das metas de emissões, como a criação do REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), que contabiliza as emissões de GEE a serem evitadas ao se reduzir o desmatamento e degradação florestal, com inclusão do manejo florestal e aumento dos estoques de carbono (MMA, 2012), e a criação do Fundo Verde, que representa um mecanismo financeiro para apoiar projetos, políticas e atividades que contribuam no combate às mudanças climáticas nos países em desenvolvimento (UNFCCC, 2011).

Salienta-se, nesses espaços de discussões, o importante e indiscutível papel que as florestas representam para o aquecimento global, tendo em vista que as mesmas absorvem CO<sub>2</sub> através do processo fotossintético. De acordo com WBCSD (2014), a retenção global de carbono na floresta estaria em torno de 861 bilhões de toneladas, isso porque as florestas detêm o mais longo ciclo de carbono, em seus diferentes compartimentos. Cabe ressaltar ainda outro papel que as florestas representam no âmbito dessas discussões: o de emissora de CO<sub>2</sub>. Essa função é ocupada à medida que atividades de desflorestamento sejam continuamente realizadas, proporcionando desequilíbrio.

Relacionando a capacidade positiva das florestas em absorver carbono com as áreas florestais do Brasil, constata-se a vantajosa posição do país frente as mudanças do clima. Aleixo et al. (2010) mencionam que os biomas brasileiros detêm grande parte da biodiversidade do mundo, e que portanto, representam relevantes centros de riqueza e endemismo de espécies. Entretanto, altíssimas devastações colocaram essa diversidade em risco, como no caso da Mata Atlântica, que compõe a lista dos *hotspots* da biodiversidade, que segundo conceito representam áreas com alta concentração de espécies endêmicas e ameaçadas, sendo portanto prioritárias para conservação em nível mundial.

No âmbito dessas discussões, entende-se que possíveis aumentos dos extremos climáticos implicam na vulnerabilidade das populações e dos ecossistemas a estas mudanças. Conforme Nobre et al. (2008), estes não têm condição própria para migrar ou se adaptar à dimensão prevista das mudanças climáticas na escala de tempo, onde antes eram milhares de anos, se tornaram décadas. Deste modo, a ferramenta mais indicada para projetar cenários possíveis de alterações climáticas para o futuro que levem em conta o comportamento da vegetação e suas interações são os modelos matemáticos, que permitem a simulação da evolução do clima.

No auxílio à ciência do clima está a geotecnologia, conceituada como um conjunto de tecnologias para coleta, tratamento, processamento e modelagem de dados e geoinformações. Parte desta, a geoestatística aplica métodos matemáticos e estatísticos e pode ser amplamente utilizada, com aplicações em modelagem de fenômenos do clima, simulação de cenários, análise de riscos e zoneamentos (VOLPATO et al., 2008). Nesse contexto, entende-se que conhecer e prever variáveis climáticas é uma oportunidade para toda sociedade frente às mudanças climáticas (VIANA et al., 2012), permitindo através desta modelagem associar o estudo da biodiversidade para o futuro.

Com o crescente interesse em respostas rápidas para os indícios de possíveis perdas de habitat para as espécies, a modelagem preditiva é uma técnica desenvolvida para analisar a distribuição geográfica de espécies através de extrapolações das características ambientais dos locais de ocorrência (GIANNINI et al., 2012). Através da mesma, é possível estimar locais adequados para diferentes espécies em função de particularidades ambientais de cada uma (PHILLIPS, 2008). Essa modelagem, de acordo com Jiménez-Valverde et al. (2008), difere-se da modelagem de nicho ecológico, cujo conceito é complexo e significa considerar os efeitos de fatores bióticos e abióticos atuantes.

Faz-se necessário compreender, no domínio da importância da distribuição dos recursos florestais frente às mudanças climáticas, quais atributos ecológicos inerentes as espécies permitirão as mesmas uma resistência ou não às mudanças do clima, bem como qual o limite de mudança que indicará diferenças nos padrões de distribuição dessas espécies ou ainda possibilidade de extinção. O avanço desse conhecimento através da ciência permitirá a diminuição de incertezas, o planejamento da sociedade e a geração de ações direcionadas para a mitigação e adaptação às alterações climáticas futuras.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 GERAL

Simular a distribuição espacial e temporal de espécies da Floresta Ombrófila Mista em função de possíveis cenários climáticos como indicativo para medidas de manejo e conservação.

### 1.2.2. ESPECÍFICOS

- Mapear a variável temperatura no Estado do Paraná avaliando séries históricas;
- Simular cenários climáticos de temperatura para o Estado do Paraná com base nas projeções sugeridas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas;
- Comparar os cenários obtidos com a literatura e validar a metodologia utilizada;
- Simular as tendências de retração geográfica;
- Delimitar os impactos oriundos das mudanças do clima para espécies da Floresta Ombrófila Mista no Paraná.

## **2. MAPEAMENTO E SIMULAÇÃO DO CLIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ**

### **2.1 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **2.1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS**

A Terra como se conhece atualmente é resultado de um processo evolutivo de cerca de 4,6 bilhões de anos, em que diferentes variáveis e organismos passaram por uma sequência de reorganizações, representando um sistema dinâmico. A compreensão do clima terrestre é consequência de inúmeras interações constituídas pelo sol, atmosfera, oceanos, gelo, relevo e seres vivos, e sua história climática reflete um padrão de equilíbrio complexo entre essas variáveis. Possíveis alterações neste padrão descrito modifica esse equilíbrio radiante e por consequência, a forma como a vida se organiza na terra (SILVA e RIBEIRO, 2012).

As distintas oscilações naturais do clima são explicadas pelas variações da iluminação solar, dada em função de diferenciações na inclinação do eixo de rotação da Terra e da geometria da sua órbita em relação ao sol (AIRES-BARROS, 2003). Porém, na história evolutiva do planeta, o surgimento do homem e a progressão da sua forma de desenvolvimento e organização social interferiram nas condições naturais do ambiente. De acordo com Lacerda e Nobre (2010), desde a década de 1950, evidências científicas demonstram a possibilidade de uma mudança no clima global em função de uma atmosfera mais aquecida.

Marcatto e Lima (2013) mencionam que fatores antropogênicos como crescimento populacional e utilização predatória dos recursos naturais produziram, ao longo dos anos de ocupação do homem na Terra, consequências ambientais que vieram a se tornar mais enfáticas com a revolução industrial iniciada em 1970, a partir da qual tem ocorrido maiores emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para Tozoni-reis (2004) esta atividade foi transformadora da relação homem-natureza.

O efeito estufa antropogênico, base da teoria atual do aquecimento global, indica que o equilíbrio energético do planeta está sendo alterado pelas atividades do homem. Grande parte dos constituintes atmosféricos são transparentes à radiação do sol, porém, gases como dióxido de carbono, vapor d'água, metano e óxido nitroso, entre outros, absorvem a radiação. O aumento da concentração desses



gases absorventes aprisiona a energia na superfície terrestre, elevando assim a temperatura (NUNES, 2003), conforme pode ser ilustrado pela Figura 1.

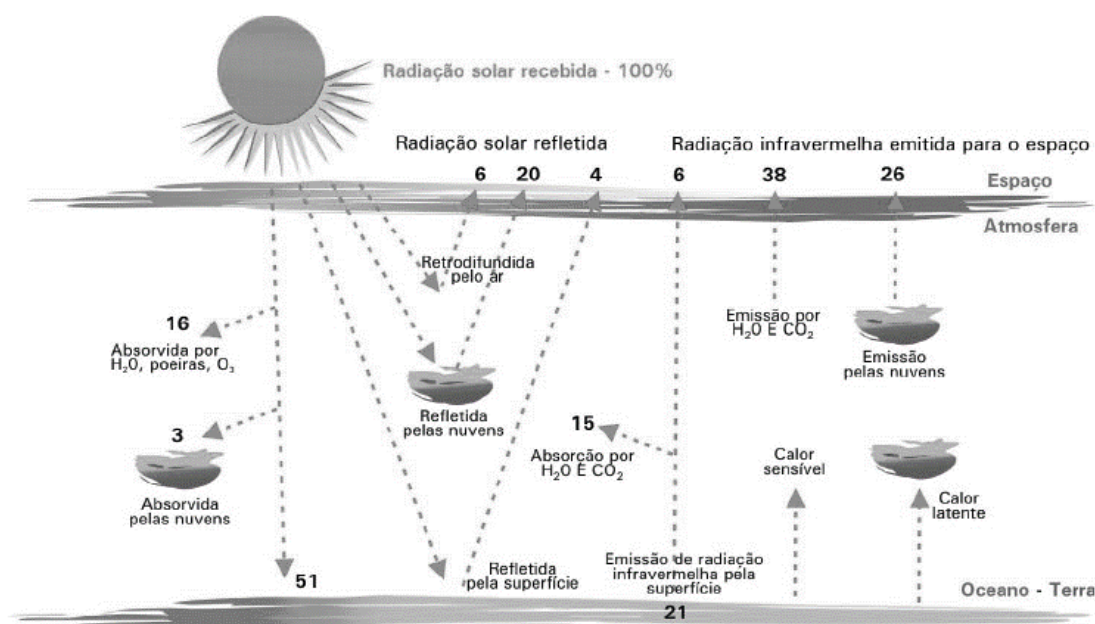


FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EFEITO ESTUFA  
 FONTE: Gazzoni e Estevão (2012)

Impulsionados pela relevância da questão ambiental, em 1988 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*, UNEP) e a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization*, WMO) criaram o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC), principal organismo internacional para a avaliação das alterações do clima, que tem por escopo fornecer ao mundo por meio de uma visão científica clara avaliações sobre as mudanças climáticas e ambientais e seu impacto no mundo através de relatórios divulgados em intervalos regulares e diversas outras publicações (IPCC, 2014).

Ainda no propósito das discussões acerca do efeito estufa, foi estabelecida em 1992, na Rio 92, a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC), instituída para garantir a redução das concentrações atmosféricas de GEE (ROCHA, 2003). O desafio dessas reduções, de acordo com Siqueira (2011), relaciona-se com a necessidade de mudanças nas tecnologias em uso, bem como, numa modificação de fontes de energias fósseis para energias renováveis. Com a entrada em vigor da UNFCCC em 1994, teve início um processo de negociações implementado em

conferências anuais (COPs) que representam importantes espaços de discussão acerca das políticas e regimes do clima.

Dentre as conferências realizadas, teve destaque aquela em que foi instituído o Protocolo de Quioto, a COP-3, ocorrida em 1997 no Japão. Esse acordo internacional definiu metas de redução de emissões de GEE (MMA, 2014). Estabeleceu ainda, compromissos de redução média de 5,2% nas emissões de gases em relação aos níveis de 1990 entre os anos de 2008 e 2012. O Protocolo também instituiu mecanismos com o objetivo de flexibilizar o alcance dessas metas, que são: Comércio de Emissões (CE); Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL); e Implementação Conjunta (IC) cujas funções são incitar o desenvolvimento sustentável por meio da transferência de tecnologia entre os países participantes; ajudar os países compromissados a alcançarem as metas de redução de emissões e incentivar o setor privado e países em desenvolvimento a cooperar com os esforços de redução das emissões, respectivamente (UNFCCC, 2010).

O funcionamento do Protocolo de Quioto a partir de 2005 impulsionou o MDL no desenvolvimento de projetos na captura e fixação do CO<sub>2</sub> relacionando atividades de implantação de sequestro de carbono na modalidade de plantio florestal (SCHMID, 2011). Essa proposta tem relação com a mitigação biológica resultante do processo de fixação do carbono na forma de matéria lenhosa realizada pelos vegetais. Adicionalmente, Resende et al. (2001) mencionaram que o sequestro de carbono considerado pelo MDL abrange a captura do carbono na forma de preservação dos estoques florestais e manipulação das florestas no aumento da fixação do carbono.

Ao longo dos anos, essas conferências permitiram por meio de acordos e negociações entre as partes, ampliar ferramentas e condutas na tentativa de cumprir as metas de redução de GEE e, como consequência, garantir a estabilidade do clima. Como exemplo desse desenvolvimento, foram estabelecidos projetos de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF) para a venda de créditos de carbono no mercado internacional (LANGE e MONTEIRO, 2010), foi implementado o REDD+ (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal), que se refere às atividades elegíveis a redução de emissões por desmatamento, degradação e incremento dos estoques de carbono (CENAMO et al., 2010), e a criação do Fundo Verde, que representa um mecanismo financeiro para

apoiar projetos, políticas e atividades que contribuam no combate às mudanças climáticas nos países em desenvolvimento (UNFCCC, 2011).

No âmbito dessas discussões, existem correntes de cientistas que divergem quanto ao entendimento do clima atual. Para a vertente que acredita num aquecimento do planeta oriundo de ações antrópicas, este se dá principalmente em detrimento do uso de combustíveis fósseis e desflorestamento; para a abordagem cética, o clima global independe das ações do homem, sofrendo influência de forças como o sol e os oceanos em seus inúmeros ciclos, aliado a justificativa da ineficiência dos modelos numéricos de previsões climáticas e pela qualidade ineficaz das estações e dados climáticos.

De acordo com o IPCC (2007), o aumento das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, principal causador do aquecimento global, excedeu em muito os valores pré-industriais (Figura 2). O resultado da exploração predatória dos recursos naturais pelo homem está cada vez mais alarmante e presente em todo o mundo, representado por episódios de inversões térmicas, secas e chuvas extremas, degelo de calotas polares e perda da biodiversidade, entre outros.

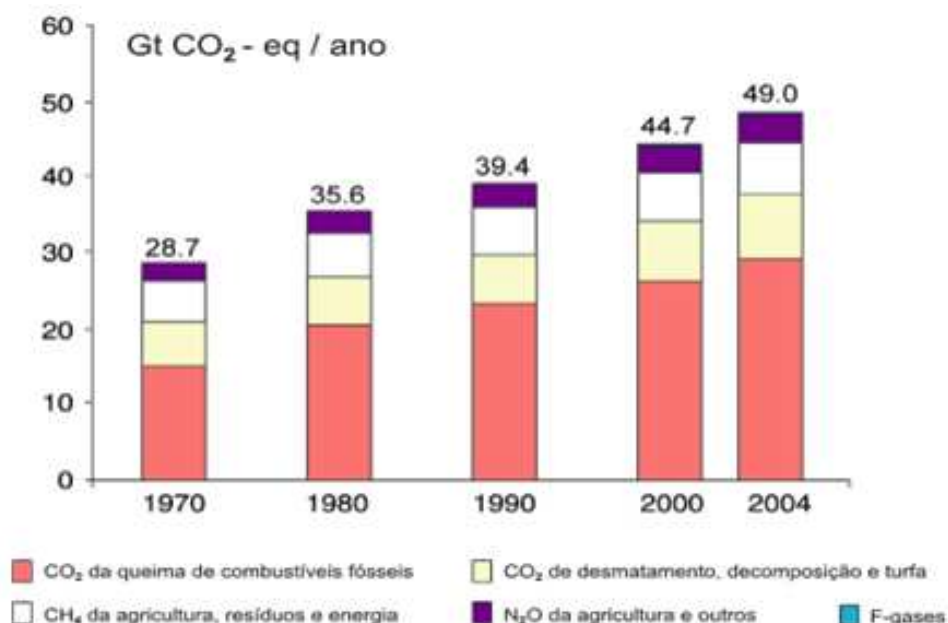


FIGURA 2 - EMISSÕES GLOBAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) POR FONTE EMISSORA CONSIDERANDO O PERÍODO DE 1970-2004  
FONTE: Adaptado de IPCC (2007)

Para Molion (2008), no entanto, os eventos de aquecimento e resfriamento da terra são cíclicos, e considerando uma base de dados histórica, excluindo simulações e modelagem climática – que são imperfeitos, há uma maior

possibilidade de que ocorra um resfriamento nos próximos 15 ou 20 anos. Silva e Ribeiro (2012) adicionam que num período de 90 anos, o Sol move-se em vários ciclos de grandes e baixas atividades, o que poderia justificar a radiação que incide sobre o globo. Para os autores, a redução do aquecimento do clima global também será dada pelos oceanos, que armazenam grande quantidade de calor. Corroboram com essa visão pesquisadores como Jones et al. (1999), Lockwood e Fröhlich (2007) e Baptista (2009).

No contraponto ao discurso apresentando acima, um dos maiores céticos do aquecimento global, Richard A. Muller, em conjunto a outros cientistas, identificaram o aquecimento global como real e assumiram que as estimativas anteriores acerca das taxas de aquecimento estavam corretas. Acrescentaram ainda que os seres humanos são a causa primordial. A partir do projeto intitulado '*Berkeley Earth*', observou-se que a temperatura média da terra tem aumentado ao longo dos últimos 250 anos, com picos maiores ao longo dos últimos 50 anos (MULLER, 2012).

A primeira parte do quinto relatório do IPCC (2013) divulgado recentemente aponta para os mesmos resultados, e reduz as dúvidas quanto a ocorrência de um aquecimento global, onde afirma através da ciência que há 95% de certeza de que a atividade humana é a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século XX. O relatório confirma que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, reportado através de mudanças observadas ao longo de várias décadas. Essas mudanças, sem precedentes há milênios, são: aquecimento da atmosfera e do oceano, redução de neve e gelo, elevação do nível do mar e aumento da concentração de gases de efeito estufa. Cada uma das últimas três décadas tem sido sucessivamente mais quente na superfície da terra quando comparada a qualquer década anterior a 1850.

A organização científica NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), utilizando diferentes métodos, chegou à mesma conclusão quanto ao aquecimento do planeta, apresentada na Figura 3. Estão demonstrados em vermelho as regiões mais aquecidas tendo em vista a comparação com o ano base de 1880, quando iniciaram as medições.

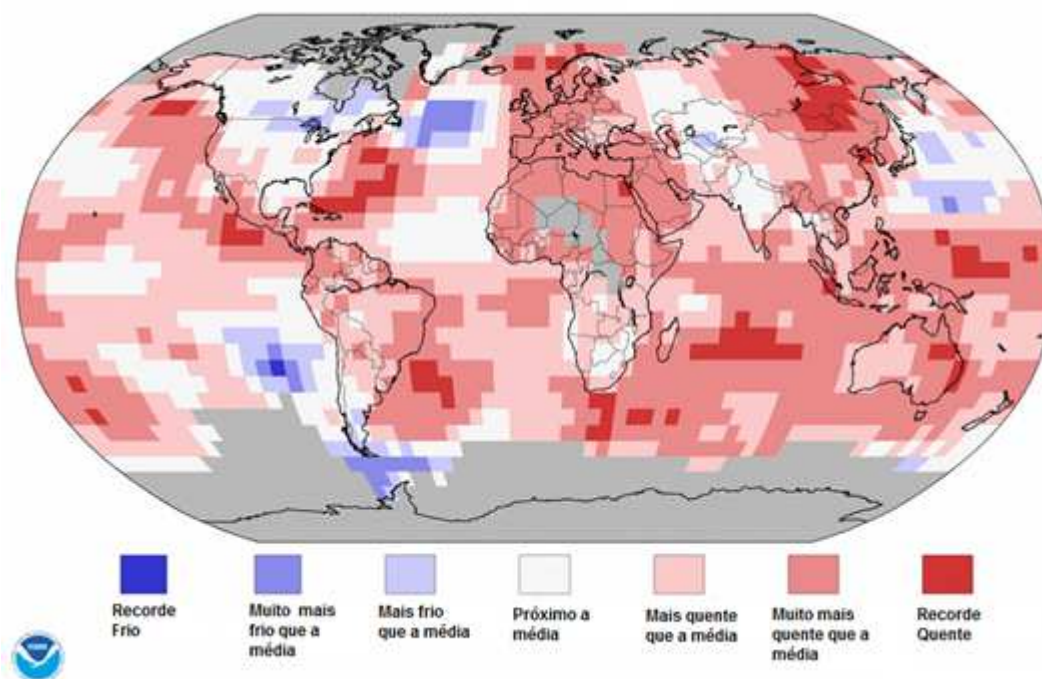


FIGURA 3 - ANOMALIAS DE TEMPERATURA TERRESTRE E OCEÂNICA EM ABRIL DE 2014 COMPARADO AO ANO BASE DE 1880  
 FONTE: Adaptado de NOAA (2014)

Tal qual no resto do globo, para o Brasil são esperadas profundas e variantes mudanças no clima, assumindo diferentes intensidades em cada região do país. Acredita-se que essas mudanças venham a afetar os ecossistemas terrestres e aquáticos, com prejuízos incalculáveis, a despeito da riqueza representada pelos seus seis biomas (Amazônia, Mata Atlântica, Pantanal, Pampa, Cerrado e Caatinga), que compreendem alguns dos maiores rios do mundo, como o Amazonas, Paraná e São Francisco, além de uma costa de 8.000 km, abrigando sete grandes zonas estuarinas e toda a plataforma continental (PBMC, 2012). No contexto das mudanças do clima, o Brasil se comprometeu a elaborar e atualizar inventários nacionais de emissões antrópicas periodicamente, e informar medidas tomadas ou previstas que dizem respeito a essa temática por meio da Comunicação Nacional.

### 2.1.2 VULNERABILIDADE, IMPACTOS, ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS SISTEMAS ÀS MUDANÇAS DO CLIMA

Creditando-se as premissas trazidas pelos cientistas do IPCC de uma atmosfera realmente aquecida, é evidente o risco para os seres vivos que ao longo das eras tiveram seu processo evolutivo associado às reorganizações naturais do

clima da terra, ocorridas numa escala temporal que permitiu a especiação e diversidade do ambiente terrestre tal qual conhecemos hoje. Assim, o conhecimento da vulnerabilidade, dos impactos e adaptações dos ecossistemas a esse aquecimento progressivo e abrupto é de extrema importância para conhecer o comportamento dos organismos vivos na Terra.

Corroborando com as definições dispostas nos trabalhos de Burton et al. (2002); Alves e Ojima, (2008); Krug (2008) e Nobre (2008), para subsidiar o entendimento das questões a serem tratadas neste trabalho, os termos vulnerabilidade, impacto, adaptação e mitigação serão abordados da seguinte forma:

Vulnerabilidade está associada com o nível de susceptibilidade de um organismo ou sistema em resistir aos efeitos da mudança do clima, a exemplo de eventos extremos de tempo e clima e variabilidade climática. É considerada uma função da natureza, amplitude e ritmo da variação climática a qual será exposto e a capacidade em se adaptar.

Os impactos relacionam-se à resultante das mudanças climáticas nos sistemas naturais e humanos, sendo possível diferenciar os impactos potenciais como aqueles que ocorrem devido às mudanças em projeção, sem ponderar a adaptação, e os impactos residuais como aqueles que ocorrerão após a adaptação.

Adaptação refere-se à forma como os sistemas naturais irão se ajustar e responder às mudanças climáticas reais ou projetadas e seus efeitos, os quais irão moderar ou investigar oportunidades.

Por fim, mitigação corresponde a uma intervenção do homem na redução de sua própria força de interferência no sistema climático, incluindo-se aqui estratégias para redução de GEE.

Nesse sentido, alguns pesquisadores têm buscado avaliar e estabelecer os inúmeros impactos e graus de vulnerabilidade aos quais os seres estão propensos, bem como, através desse conhecimento, analisar estratégias de mitigação e adaptação, subsidiando políticas de manejo e conservação dos recursos naturais globais.

Ao avaliar os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas, UNEP (2009) afirma que tanto para os ambientes terrestres quanto para os aquáticos, as mudanças do clima mais irreversíveis incluem: a alteração de características químicas do meio ambiente, inundação de inúmeras pequenas ilhas e de áreas costeiras, perda de áreas alagáveis e aumento da aridez em áreas subtropicais,

dentre outras problemáticas. Essas mudanças irreversíveis e seus efeitos cumulativos, sem precedentes, irão alterar as características dos ecossistemas resultando numa potencial extinção de espécies. Para os autores, a biosfera terrestre global mostra inércia para responder às mudanças climáticas, o que significa que os ecossistemas podem ser transformados muito antes de qualquer resposta observável.

Os recursos hídricos são também dependentes do clima, e embora o Brasil ocupe posição privilegiada no tocante à disponibilidade de água, o ciclo anual de chuvas e vazões no país é variável, relacionado aos fenômenos de La Niña e El Niño, ou à variabilidade da temperatura na superfície dos mares, gerando assim anomalias climáticas que por consequência produzem secas extremas. Os riscos oriundos das mudanças climáticas têm gerado preocupações em toda humanidade, enfatizados pela declaração da ONU em 2007, onde foi afirmado que grande parte dos países menos desenvolvidos já enfrentam períodos irregulares de chuvas, e conforme as previsões futuras indicam, as mudanças climáticas tornarão essa oferta de água cada vez menos previsível (MARENGO, 2008).

Sujeita a inúmeros fatores diferentes no tempo e espaço, entre eles, o clima médio e variabilidade do clima, a biodiversidade é o elemento chave para os bens e serviços propiciados pelos ecossistemas que são indispensáveis à sobrevivência e bem-estar humano. Oscilações no clima global passado resultaram em amplas variações na distribuição de espécies, o que tornou marcante a reorganização de comunidades biológicas e biomas, no entanto, os níveis e magnitudes atuais de extinção de espécies associados às atividades antrópicas ultrapassam as taxas naturais já conhecidas. O manejo dessa biodiversidade poderá, portanto, auxiliar na mitigação e adaptação das espécies às mudanças do clima (MMA, 2007).

Considerando a biodiversidade florestal em específico, sabe-se que as florestas contribuem para a estabilidade do meio ambiente e da organização da vida humana, propiciando riquezas e valias. As florestas têm fundamental papel no ciclo do carbono, pois constituem o maior reservatório deste elemento e em muitos casos, atuam como sumidouros. Florestas em crescimento absorvem o CO<sub>2</sub> da atmosfera fixando o carbono em sua biomassa pelo processo fotossintético, função essa que as relacionam diretamente com o clima, pois esse processo natural está sendo visto como notável instrumento de combate ao efeito estufa antrópico, reduzindo assim as

concentrações de GEE com recomposições florestais, reflorestamento e conservação de áreas florestais.

Pela complexidade dos ecossistemas florestais e suas inter-relações, constitui um desafio predizer as respostas das florestas aos diferentes impactos associados às alterações do clima, pois para tal, é preciso desenvolver e aprimorar ferramentas que considerem a complexidade das florestas e do sistema climático, resultando numa avaliação integrada. No entanto, é nítida a demanda por tal conhecimento, cuja compreensão acerca dos impactos potenciais das mudanças climáticas nestes ecossistemas é de extrema importância para o mundo, e em especial para o Brasil, que conforme o SFB (2013) é detentor de aproximadamente 520 mil ha de florestas, e de 62 bilhões de toneladas de carbono na biomassa viva.

Para CAMPOS (2001), as mudanças climáticas dentro das florestas irão impulsionar variações no volume de biomassa, no número de espécies e taxas de especiação, bem como na decomposição da matéria orgânica. Algumas áreas florestais tenderão a se deslocar geograficamente, a fim de se adaptar a condições harmoniosas a sua sobrevivência, e caso não seja possível, tendo em vista barreiras geográficas e limitações de uso da terra, haverá uma grande redução das áreas de florestas. Essa migração realizada numa escala de tempo pequena pode ter consequência na reprodução das árvores, bem como, na própria taxa de migração, em que espécies de crescimento lento não têm a mesma capacidade de migrar tal qual as espécies de rápido crescimento, implicando numa ameaça acelerada a essas formas de vida, que já sofrem outros tipos de interferência.

Como forma de ilustrar essa realidade acima descrita, SALAZAR et al. (2007) testaram 15 modelos diferentes, e em mais de 75% deles houve o indicativo que até 2100 uma faixa de floresta será climaticamente imprópria para a composição florística amazônica, implicando na substituição da floresta por um tipo de vegetação conhecida como savana. Já SALATI et al. (2007), estudando a Mata Atlântica, mencionam que os remanescentes já explorados anteriormente pelo homem, estarão fortemente ameaçados com as mudanças do clima, e seu destino está intrinsecamente relacionado com a capacidade de manejo e controle dos órgãos ambientais.

Diante da discussão apresentada, entende-se que todos os países estão confrontados com o desafio de lidar com as vulnerabilidades e impactos das mudanças climáticas sobre suas florestas e recursos, o que induz a uma gestão que



traga uma abordagem de adaptação e mitigação, facilitando os esforços conjuntos para o enfrentamento às mudanças climáticas (FAO, 2011). Neste propósito, há uma imposição estratégica na geração de informações e estudos que cada vez mais respondam e orientem a humanidade.

### 2.1.3 MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA DO CLIMA

O convencimento que o clima do nosso planeta está passando por alterações adicionais àquelas oriundas da variabilidade natural do sistema climático advém de um conjunto de pesquisas que indicam o aumento da temperatura média do planeta. O histórico do estudo do clima teve início no século XIX, conforme relata Ramanathan (1998), em que Baron Jean-Baptiste Fourier sugeriu o comportamento da atmosfera como uma tampa de vidro transparente exposta ao sol, permitindo que a luz possa penetrar a superfície da terra. Outros estudiosos seguiram avaliando a relação da atividade solar com o clima da Terra, mas foi em 1896 que Arrhenius embasou a influência dos GEE na temperatura da atmosfera terrestre, assim como inferiu acerca da importante influência que o comportamento humano exerce na temperatura global do planeta (RODHE et al., 1998).

A teoria que relaciona os gases de efeito estufa com as mudanças climáticas foi aprimorada e tomou seu aspecto mais atual com a publicação do estudo de Manabe e Wetherald (1967) que demonstraram de forma convincente que o CO<sub>2</sub> induzia ao aquecimento da superfície. Outros importantes fatores alteraram o ceticismo científico a respeito da ocorrência do aquecimento global: disponibilidade de séries históricas de dados climatológicos, que permitiu notar relevantes variações no clima; evolução de recursos computacionais associados ao desenvolvimento da modelagem matemática, que propiciou análises dos processos que compõem todo o sistema climático; a comprovação da vulnerabilidade da humanidade frente às forças do clima e a tomada de uma consciência mais ambiental, com a percepção das constantes agressões antrópicas ao planeta (SCHNEIDER, 1989 citado por DESSAI e TRIGO, 2001).

Ao longo da história, inúmeros progressos nas estimativas permitiram que a previsão numérica do clima tomasse um espaço imprescindível no planejamento da sociedade. Entre as técnicas e conhecimentos desenvolvidos, cabe destaque a modelagem matemática, que despontou como uma das ferramentas científicas mais

expressivas para representar os fenômenos que regem a atmosfera. Barry e Chorley (1998) corroboram com essa inferência ao afirmarem que a modelagem numérica meteorológica tem facilitado o entendimento do sistema climático em sua configuração.

O impulso que permitiu esse desenvolvimento é descrito por Bader et al. (2008) ao retratar que a modelagem do clima cresceu a partir da vontade em prever condições climáticas, e que atualmente as previsões têm sido estendidas para temporadas, na tentativa de entender a evolução de episódios como o El Niño. O objetivo da modelagem climática é portanto, a extensão da previsão do tempo para mais e mais períodos, cujo foco é avaliar as estatísticas sobre os acontecimentos e a evolução do clima em seus diversos componentes (Figura 4).

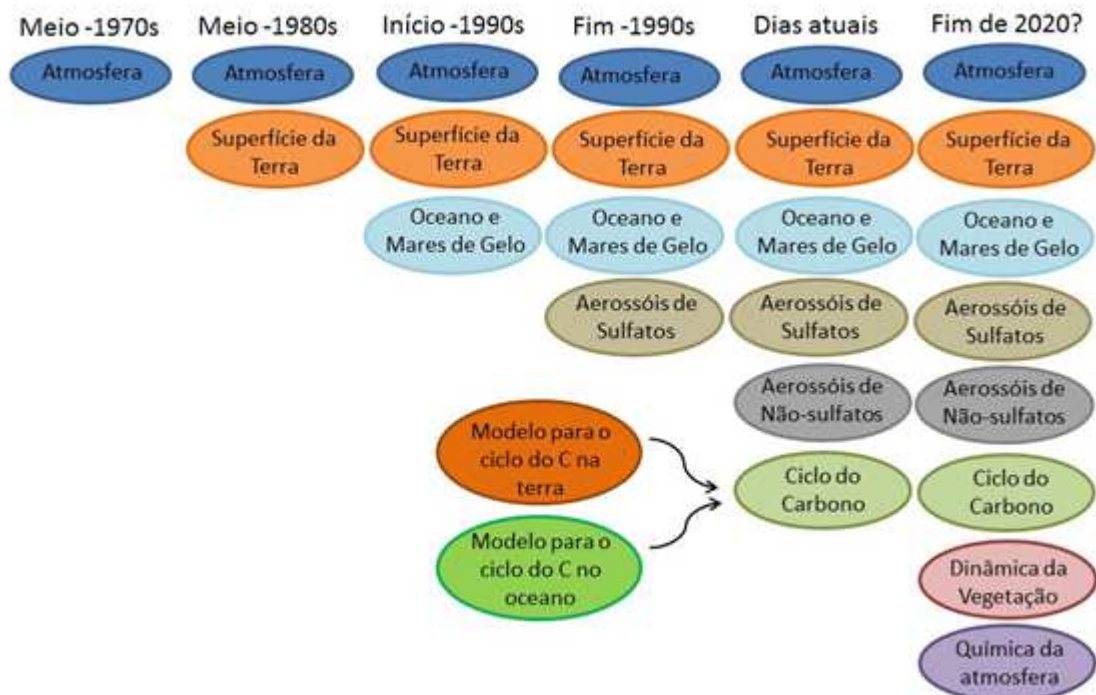


FIGURA 4 - HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE MODELOS CLIMÁTICOS  
FONTE: Adaptado do IPCC (2007)

O desenvolvimento mencionado acima trouxe a realidade atual dos modelos climáticos compostos de um sistema de interação modelo-componentes, em que cada um simula uma parte do sistema climático. Individualmente, as peças podem ser executadas para determinadas aplicações. Assim, os modelos são construídos para satisfazer restrições e exigências considerando uma simulação precisa dos recursos importantes à humanidade. É um processo complexo, tendo em vista todas as interações atmosfera-oceano-superfície terrestre-gelo (BADER et al., 2008a).

Conforme definição do IPCC (2014), os modelos numéricos (modelos de circulação geral), representam os processos físicos da atmosfera, oceanos, criosfera e superfície terrestre, e são os instrumentos disponíveis atualmente que permitem simular a resposta do sistema climático global em função do aumento da concentração de gases de efeito estufa. Enquanto modelos mais simplificados têm sido usados para fornecer de forma global ou regional a resposta do clima às previsões, esse modelo tem o potencial de fornecer geograficamente e fisicamente estimativas mais consistentes.

Hamada et al. (2012) indicam que as informações necessárias para investigação dos impactos oriundos das potenciais mudanças do clima são obtidas por meio de projeções de modelos climáticos, divididos por escala, em globais (GCM, *Global Climate Models*) ou regionais (RCM, *Regional Climate Models*). Apesar da eficiência da modelagem do clima, Nobre (2008) constatou que os valores relativos às incertezas quanto às estimativas de um clima futuro não variaram de forma expressiva nos últimos relatórios do IPCC (1995, 2001 e 2007), mesmo com os enormes avanços na modelagem matemática, relacionando todos os componentes citados anteriormente do sistema climático e incluindo o ciclo de carbono nos oceanos e na vegetação.

Outra técnica de grande relevância, amplamente difundida e utilizada para previsões de variáveis do clima é a interpolação espacial, através da geoestatística (MELO et al., 2014). Conforme Alvarenga (2012) define, a interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados. Essa técnica baseia-se no pressuposto de que em média, os valores do atributo tendem a ser similares em distâncias menores do que em distâncias maiores. Através das estimativas da configuração espacial dos pontos amostrados, é possível estimar o ponto desejado. Deste modo, procede-se a um estudo variográfico que permite verificar a estrutura da dependência espacial da variável climática e ajusta-se modelos matemáticos que facultam a interpretação dos fenômenos. Em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, a geoestatística fornece como produto final mapas descritivos dos elementos de estudos, distribuídos em classes.

No âmbito do estudo da modelagem do clima, diversos cenários foram gerados em escala mundial, continental, de país e região, apoiados pelos modelos climáticos. Os cenários previstos para o mundo são abrangentes e encontrados em

diversos estudos de diferentes instituições, demonstrado neste trabalho nas seções anteriores, cuja referência principal é o IPCC. No Brasil, embora a falta de observações de longo prazo seja um fator limitante para diagnosticar e quantificar o papel dos diferentes agentes que atuam no clima, algumas instituições têm desenvolvido essa ciência e publicado cenários importantes que demonstram as variações climáticas no país. Como exemplo pode-se citar o Marengo e Soares (2003); Krüger (2005); Lapola (2007); Marengo et al. (2007); Marengo et al. (2007a); CGEE (2008); Mota (2008); Nobre et al. (2008); Nobre (2008a); Sartori et al. (2010); Almeida et al. (2011); Lyra et al. (2011) e PBMC (2012), entre outros.

O PBMC (2012) descreve os principais resultados científicos consensuais acerca das projeções climáticas em escala regional para cada bioma brasileiro. Neste trabalho, cabe destaque à Mata Atlântica, localidade de estudo, onde as projeções consideram dois regimes distintos, em função da abrangência das regiões sul, sudeste e nordeste. Para a porção Sul/Sudeste, até 2040 são projetados aumentos de chuva em torno de 5 a 10%, e acréscimo de 0,5°C a 1,0°C na temperatura média; nos períodos seguintes, permanecem as tendências de aumento da temperatura de 2,5°C a 3,0°C e clima mais chuvoso entre 25% a 30% em 2071-2100 (Figura 5).

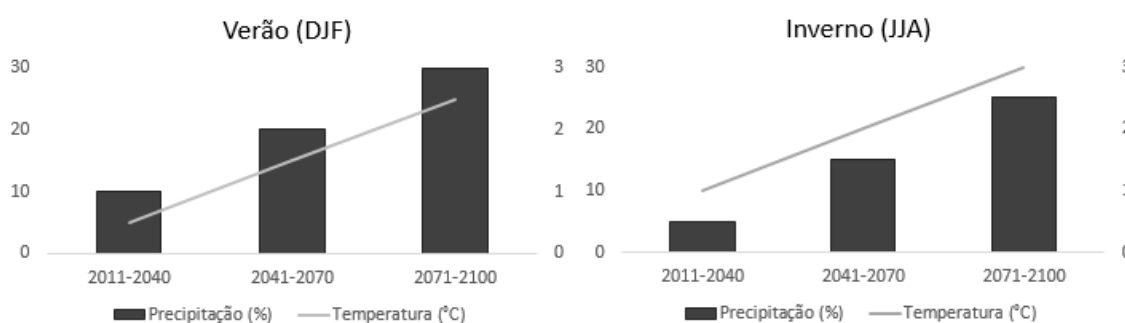


FIGURA 5 - PROJEÇÕES PARA O BIOMA MATA ATLÂNTICA PARA OS PERÍODOS (2011-2040), (2040-2070) E (2071-2100) DO SÉCULO XXI, OBTIDOS PELOS RESULTADOS CIENTÍFICOS DE MODELAGEM GLOBAL E REGIONAL. DJF CORRESPONDE AOS MESES DE DEZEMBRO, JANEIRO E FEVEREIRO; JJA CORRESPONDE AOS MESES DE JUNHO, JULHO E AGOSTO  
 FONTE: Adaptado de PBMC (2012)

De um modo geral, os cenários futuros do clima são projeções oriundas de modelos climáticos dados pelas mudanças de uso da terra, concentrações de GEE retratado por cenários socioeconômicos de emissões, e simulações de aumento em função de séries históricas. Em função do interesse em avaliar condições

específicas do clima, como variáveis isoladas ou combinadas, escalas de tempo e de espaço diferenciadas, diversas técnicas são aplicadas considerando distintos graus de complexidade, culminando assim em diferentes geradores de cenários climáticos. Essa diversidade de métodos pode ser observada nos trabalhos de Medeiros (2003); Virgens Filho et al. (2006); Wrege et al. (2009); Fruteira et al. (2011); Alves (2013); Schardong e Simonovic (2013), entre outros.

Conforme demonstrado ao longo desta revisão por meio dos autores referenciados, é indiscutível a importância do conhecimento do clima para as diversas localidades do mundo e do Brasil. Os países em desenvolvimento, conforme sugerem as projeções, são os mais vulneráveis às mudanças climáticas e em correspondência, os menos capacitados para enfrentar as mesmas. Desse modo, torna-se imprescindível a geração de esforços para ampliar o número de estudos e pesquisas, visando à produção de informação de qualidade que dará aos tomadores de decisão direcionamentos para o planejamento estratégico da população. Enfatiza-se ainda que a restrição de recursos e acesso a informações/dados não devem ser fatores estritamente limitantes ao desenvolvimento desse conhecimento, cabendo aos pesquisadores gerarem tantas informações quanto forem possíveis.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende todo o estado do Paraná, região Sul do Brasil, cuja localização geográfica encontra-se entre os paralelos 22°30'58" de latitude Norte e 26°43'00" de latitude Sul e os meridianos 48°05'37" e 54°37'08" a Oeste de Greenwich (Figura 6). O estado compreende 399 municípios com área total de 199.307,922 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 2,4% da área do Brasil e 35% da área da região Sul. As altitudes vão desde o nível do mar a 1.922 metros, representado pelo Pico Paraná, na Serra do Mar, que é o ponto mais elevado do Estado. Grande parte de área total, cerca de 80%, situa-se entre 200 e 800 metros acima do nível do mar (IBGE, 2014).

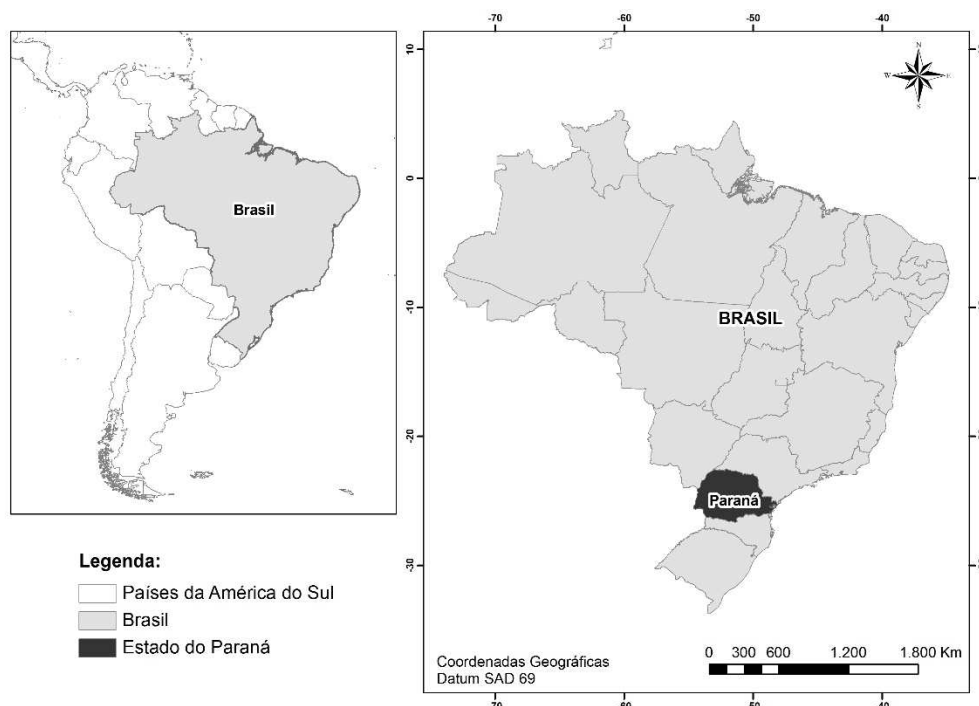


FIGURA 6 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ  
 FONTE: A autora

Considerando a classificação climática proposta por Köppen, identificou-se predominantemente dois tipos climáticos: Cfa e Cfb, sendo que o primeiro representa um clima subtropical, com temperaturas médias no mês mais frio inferiores a 18°C e no mês mais quente superiores a 22°C, com verões quentes, geadas poucos frequentes e concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. O segundo tipo climático é definido como um clima temperado, com temperatura média do mês mais frio também abaixo de 18°C, verões frescos, temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2014). As temperaturas médias anuais do Paraná variam de 15° a 24°C, sendo o Sul do estado mais frio e a porção noroeste mais quente (CAVIGLIONE et al., 2000).

Maack (1981) descreve, de acordo com a latitude, que a parte majoritária do Estado do Paraná insere-se na zona subtropical (de 23°27' a 26°47'). A menor parte situa-se ao norte do trópico de Capricórnio, onde avança para uma zona tropical, explicada por uma alta incidência solar ao norte do estado do início de dezembro ao início de janeiro. O autor descreve ainda que as várias zonas climáticas são determinadas pela altitude nos diversos planaltos.

Fritzsons et al. (2008) abordam em seu estudo sobre a relação da altitude e temperatura como parte do zoneamento climático do Paraná, que as variáveis em questão apresentam forte correlação, cujo gradiente térmico do Estado está na ordem de 1°C para 126 m de altitude. Os autores descreveram que essa relação é importante na área de estudo, tendo em vista que diferenças altitudinais de centenas de metros provocam mudanças sensíveis na vegetação natural, entre outros fatores, e na adaptação das espécies vegetais aos vários sistemas de uso.

Com relação ao índice pluviométrico anual do estado, o Instituto das Águas do Paraná (2014), através de mapeamento realizado pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), indicou que a precipitação varia de 1200 a 2500 mm anuais. A predominância de chuva ocorre no verão, sendo o inverno a estação mais seca. Na porção norte do Paraná, os valores anuais correspondem ao mínimo descrito, por volta de 1200 a 1400 mm; já a região com maior concentração de chuvas está no litoral do estado e Serra do Mar, atingindo o valor máximo mencionado, na região do Escudo Paranaense (MINEROPAR, 2001).

No tangente a formação geológica do Estado, a Mineropar (2001) indica que a evolução da geologia ocorreu há mais de 2.800 milhões de anos, quando a plataforma Sul-Americana, com sua formação dada por rochas magmáticas e metamórficas, serviu de base na composição das unidades sedimentares e vulcânicas, resultando no Escudo Paranaense, demonstrado ao leste do Estado (litoral e Primeiro Planalto). A oeste é recoberto pela Bacia do Paraná, estrutura vulcânica e sedimentar.

Maack (1981) descreve a divisão do Paraná em cinco regiões: Litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto (Planalto de Curitiba), Segundo Planalto (Planalto de Ponta Grossa) e Terceiro Planalto (Planalto de Guarapuava). Derivado dessas formações, os solos do estado são, em sua predominância, do grupo dos Latossolos, com participação dos Argissolos e Neossolos. Em menor distribuição, observa-se ainda Nitossolos e Cambissolos, entre outros (ITCG, 2008).

A fitogeografia, estudo da distribuição espacial de uma referida formação vegetal, compreende as causas geológicas, climáticas e ecológicas que direcionam os padrões espaciais dos vegetais (SIQUEIRA, 2005). Originalmente 83% da superfície do Paraná era coberta por florestas. No restante havia formações não florestais. As unidades fitogeográficas que se destacam no Paraná são: Floresta

Ombrófila Densa (Floresta Atlântica); Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária); Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Estacional); Estepe (Campos) e Savana (Cerrado), sendo esses dois últimos relictos de uma condição climática semi-árida anterior, associada ao último período glacial (RODERJAN et al., 2002) (Figura 7).

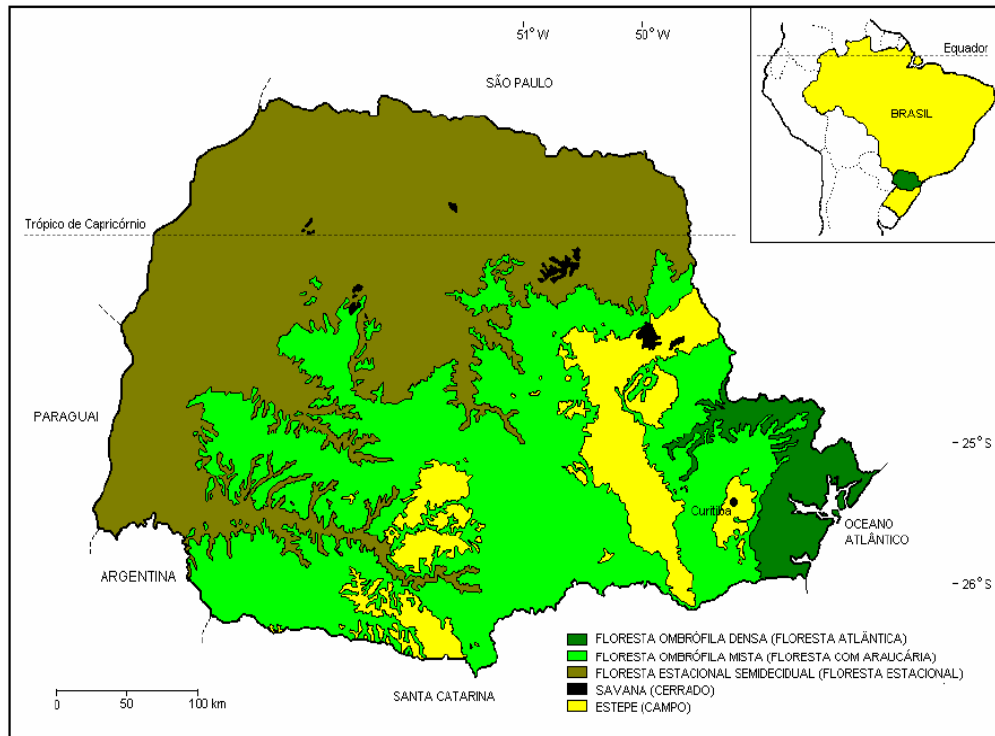


FIGURA 7 - CLASSIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS UNIDADES FITOGEGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ

FONTE: Roderjan et al. (2002)

Tropmmair (1990) complementa que o Estado ocupa um espaço de transição entre as regiões tropicais e subtropicais, onde seus planaltos, com ocorrência recorrente de geadas, representam o limite biossociológico entre as espécies tropicais e subtropicais. Para o autor, o entendimento das diferentes paisagens que compõem o Paraná é dependente das influências sócio-econômicas, principalmente nas porções central e noroeste, submetidas a uma considerável ocupação e adensamento populacional. Desse modo, a demografia interferiu de forma intensa na estrutura do solo, resultando no desaparecimento de incontáveis paisagens naturais com cobertura vegetal original, sendo exceção a Serra do Mar e Campos Gerais.



## 2.2.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

O banco de dados deste estudo considerou as séries históricas das variáveis temperatura máxima média do ar, temperatura média do ar e temperatura mínima média do ar em décadas, abrangendo os anos 70-79 (década 1); 80-89 (década 2); 90-99 (década 3); 00-10 (década 4), adquiridos de 40 estações meteorológicas convencionais, composta por sensores que registram continuamente os parâmetros meteorológicos, cobrindo o Estado do Paraná. Foram obtidos em complementaridade dados de precipitação analisados no mesmo período de tempo e os valores de altitude, ambos correspondentes a cada estação.

Considerou-se ainda, conforme a disponibilidade de obtenção de dados, 5 estações adicionais distribuídas nos Estados de fronteira (Mato Grosso do Sul, São Paulo e Santa Catarina), respeitando o alcance espacial previamente estabelecido no semivariograma experimental de modo a minimizar possíveis efeitos de borda (Figura 8). Totalizam-se portanto 45 estações meteorológicas que compuseram a série histórica de dados, cujo período base atende a recomendação da OMM (Organização Mundial de Meteorologia), que instrui registros históricos mínimos de 30 anos para estudos do comportamento do clima.

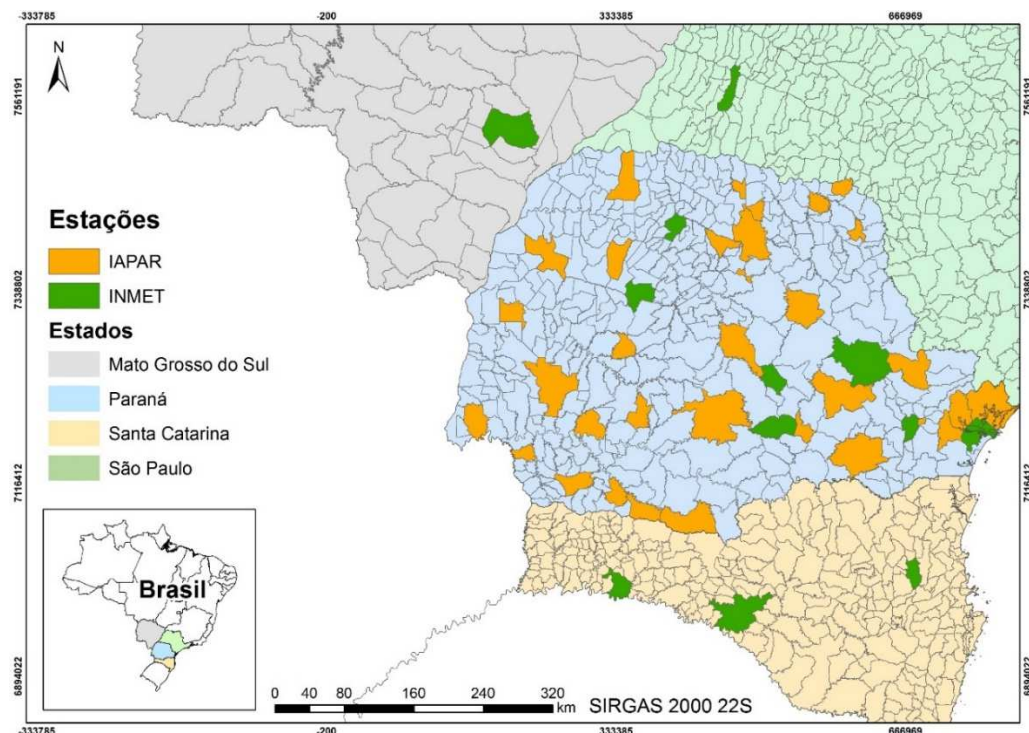


FIGURA 8 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS 40 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO PARANÁ, E DAS 5 ESTAÇÕES COMPLEMENTARES, LOCALIZADAS NOS ESTADOS DE MATO GROSSO DO SUL, SÃO PAULO E SANTA CATARINA  
 FONTE: A autora

As séries históricas foram obtidas junto ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Realizou-se filtragem e avaliação da qualidade dos dados obtidos para garantir a fidelidade na predição das variáveis. A fim de tornar o conjunto de dados mais robusto, as ausências de medições foram preenchidas com o software PGECLIMA\_R, gerador estocástico de dados climáticos sintéticos, permitindo completar as séries históricas que serão trabalhadas. Na seção abaixo, a metodologia do gerador será melhor detalhada. Procurou-se distribuir as estações de modo a cobrir a totalidade de área do Estado, estabelecendo as menores distâncias possíveis entre as estações dentro da acessibilidade dos dados.

Anterior ao mapeamento e simulação, as estatísticas descritivas e uma análise exploratória dos dados foi realizada para conhecimento do comportamento dos mesmos.

### 2.2.3 MAPEAMENTO DA TEMPERATURA E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS

No mapeamento histórico das temperaturas do Estado do Paraná utilizou-se o conjunto de dados preenchido pelo software PGECLIMA\_R, permitindo uma ampliação do número de Estações possíveis de serem aplicadas neste estudo. A metodologia usada pelo PGECLIMA\_R para gerar dados sintéticos de temperatura considera a função de distribuição probabilística para simulação das temperaturas máximas e mínimas diárias. Os trabalhos de Virgens Filho (1997) e Virgens Filho (2001) descrevem todo processo de desenvolvimento do modelo computacional para simulação de dados climáticos e posteriormente a respectiva ferramenta para simulação baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade, compondo assim o referido software.

Utiliza-se para estimativa da temperatura a função de distribuição Normal, cuja representação para dados diários dessa variável é amplamente difundida na literatura (ASSIS et al., 2004). São estimados parâmetros desta distribuição para os dados de temperatura mínima e máxima diárias considerando ainda a influência da ocorrência de dias chuvosos por meio da Cadeia de Markov, tratando de forma distinta parâmetros para dias chuvosos e secos. A função de distribuição de

probabilidade que compõe a simulação da precipitação usada como ponderador para os dados de temperatura é a função Gama. Assim, as funções normal (1) e gama (2) tem sua densidade descrita abaixo:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

$x$  = variável temperatura, em °C;

$\sigma$  = desvio padrão da variável aleatória  $x$ ;

$\mu$  = média aritmética da temperatura;

$e$  = base do logaritmo natural.

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (2)$$

$\alpha$  = parâmetro de forma a ser estimado;

$\beta$  = parâmetro de escala a ser estimado;

$\Gamma$  = função Gama.

Os dados sintéticos gerados são validados dentro do próprio programa pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A eficiência do simulador PGECLIMA\_R foi examinada e descrita nos trabalhos de Virgens Filho (2001); Virgens Filho et al. (2013) e Virgens Filho et al. (2014), cujos resultados comprovaram a eficácia deste ao demonstrar que não há diferença significativa entre os dados sintéticos e os reais.

Portanto, de posse da série histórica completa, calculou-se através da média aritmética a temperatura média diária com base nas temperaturas máximas e mínimas diárias. Posteriormente, calcularam-se as médias de temperaturas anuais (máxima – máx., média – méd. e mínima – mín.), com base nos dados diários; e por conseguinte, as mesmas variáveis de temperaturas em escala temporal em décadas, com base nos dados anuais, para cada Estação (Figura 9).

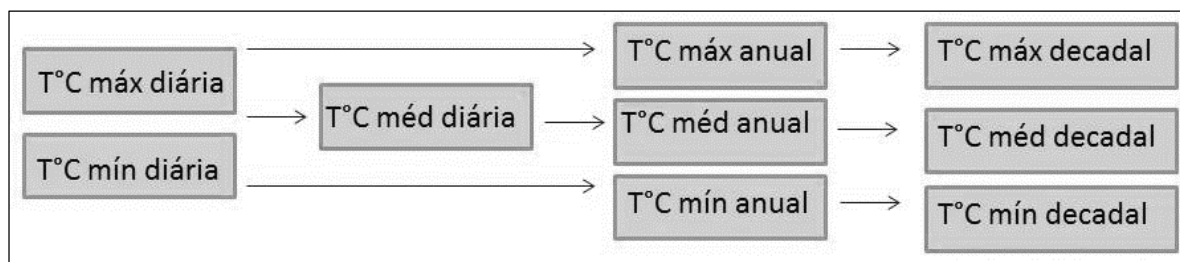


FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS BASE PARA O MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DO PARANÁ  
 FONTE: A autora

Com a composição dos dados organizados, procedeu-se a análise exploratória do conjunto de dados, na qual procedeu-se ao conhecimento da relação entre as temperaturas (variável principal) e a altitude e precipitação (variáveis secundárias) através de gráficos de dispersão para a primeira, e de relação das diferenças entre os totais históricos e os totais estimados para a segunda.

Por fim, à espacialização dos valores das três variantes de temperatura a nível de Estado, empregando-se a ferramenta geoestatística, através da qual é possível ampliar a escala de avaliação, determinando-se classes de temperatura correspondentes em áreas não observadas. O objetivo principal desta técnica corresponde à caracterização espacial de variáveis de interesse, onde considera-se que cada ponto no espaço apresenta uma distribuição de probabilidade de ocorrência de valores, baseada na Teoria das Variáveis Regionalizadas (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). A aplicação da geoestatística na predição, estimativa, geração de cenários de temperatura e zoneamento climático é descrita na literatura como uma ferramenta eficaz e vantajosa (ASSAD et al., 2003; MEDEIROS et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; FURTADO e NEGREIRO, 2010; LYRA et al. 2011).

Considerando a correlação espacial positiva para a temperatura, demonstrada nos trabalhos mencionados no parágrafo anterior, calculou-se o semivariograma experimental que permite, de acordo com Journel e Huijbregts (1978) citados por Mello (2004), definir o modelo que melhor descreve o comportamento dos dados no espaço. Esse gráfico, função da semivariância, fornece ainda o cálculo dos parâmetros envolvidos nos modelos, como a distância da dependência espacial (alcance) onde, a partir da qual, termina a dependência entre os fenômenos estudados; o efeito pepita, que representa a variabilidade para escalas menores que

a distância da amostragem; e a altura, distância entre o efeito pepita e o patamar, intervalo em que o semivariograma cresce (OPROMOLLA et al., 2006).

Realizou-se o ajuste de modelos teóricos aos interpoladores sem considerar a potencial anisotropia pertencente ao Estado, visto que o objetivo é trabalhar com um modelo global (em nível de Paraná) e não local (em nível de região dentro do Estado). Foram testados e avaliados quanto a eficiência os interpoladores: Krigagem Ordinária (KO, em inglês *Ordinary Kriging*) e Cokrigagem (CK, em inglês *Cokriging*), considerando a altitude como variável secundária. A definição da altitude se deu pela análise da correlação da mesma com a temperatura, bem como, pelos excelentes resultados demonstrados na literatura (VIOLA et al., 2010; DI PIAZZA et al., 2011).

Os modelos de semivariância avaliados foram o Esférico (3), Exponencial (4) e Gaussiano (5), cujas expressões matemáticas são descritas conforme Xavier et al. (2010), a seguir:

$$y(h) = c_o + c_1 \left\{ \frac{3h}{2a} - 1/2(h/a)^3 \right\} \text{ para } 0 < h < a \quad (3)$$

$$y(h) = c_o + c_1 \text{ para } h \geq a$$

$$y(h) = c_o + c_1 \{1 - \exp(-h/a)\} \quad (4)$$

$$y(h) = c_o + c_1 \{1 - \exp(-h^2/a^2)\} \quad (5)$$

Em que:

$c_o$  = efeito pepita;

$c_o + c_1$  = patamar;

exp= exponencial;

$h$  = distância (m);

$a$  = alcance, a distância até onde existe dependência espacial (m);

$y(h)$  = semivariância.

A escolha do melhor interpolador e seu modelo se deu a partir dos valores obtidos pelo erro médio (RMS) e raiz do erro médio quadrático (RMSS) da validação cruzada, calculados no software ArcGis, assim como em função do grau de

dependência espacial (GD), obtido por meio da análise dos parâmetros do semivariograma: alcance, patamar ( $c_0 + c_1$ ) e efeito pepita ( $c_0$ ). Em complemento, procedeu-se a validação separando um conjunto de dados, e aplicando-se as técnicas de interpolação para verificação de sua eficiência. Os operadores matemáticos que definem as estatísticas mencionadas estão descritos abaixo:

O erro médio corresponde à diferença média entre os valores medidos e preditos. Esse indicador avalia a variabilidade do erro da predição, em que menores valores representam uma menor variabilidade entre os valores estimados e os respectivos valores verdadeiros. É dada pela equação 6:

$$RMS = \frac{\sum_{i=1}^n (Z(si) - z(si))}{n} \quad (6)$$

Já a raiz do erro médio quadrático indica o quão perto dos valores medidos o modelo irá predizer o estimado. Para este critério, valores muito superiores a 1, indicam subestimativa; valores muito inferiores a 1, há tendência a superestimativa. O ideal é valores em torno de 1. A descrição matemática é dada pela equação 7:

$$RMSS = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Z(si) - z(si))^2}{n}} \quad (7)$$

O grau de dependência espacial (GD) é essencial à análise em questão, e corresponde ao índice de dependência espacial que a variável apresenta (Equação 8). Tendo em vista que esse critério é fundamental na ferramenta geoestatística, o mesmo foi considerado como de maior relevância na análise dos modelos. Sua expressão é:

$$GD = \frac{c_o}{c_o + c_1} \times 100 \quad (8)$$

Assim, Cambardella et al. (1994) propuseram a seguinte interpretação:

$GD \leq 25\%$  = forte dependência espacial

$25\% \leq GD \leq 75\%$  = moderada dependência espacial

$GD \geq 75\%$  = fraca dependência espacial

Em que:

$RMS$  = Erro médio (°C);

$RMSS$  = Erro médio quadrático (°C);

$GD$  = Grau de dependência espacial (%);

$Z$  = valor predito para o local  $S_i$  (°C);

$z$  = valor observado para o local  $S_i$  (°C);

$s_i$  = local;

$n$  = número de observações (unidades);

$C_o$  = efeito pepita;

$C_o + C_1$  = patamar.

A partir da seleção do melhor interpolador e seu respectivo modelo, foram gerados 12 mapas de temperatura equivalentes as quatro décadas propostas em relação às três variantes de temperatura. Os mapas descritivos facultarão a observação do comportamento da temperatura enquanto fenômeno desde os anos 1970 até o ano de 2010, analisando-se as variações e amplitudes ocorridas nas classes de temperatura mínima, temperatura média e temperatura máxima ao longo desse tempo. Essa avaliação servirá de base à simulação de cenários futuros.

Na simulação dos cenários futuros para o Estado do Paraná, tomou-se como referência o quinto relatório de avaliação das mudanças do clima (AR5) disponibilizado pelo Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC, 2013). Neste documento consta a projeção de quatro cenários climáticos futuros, entre otimistas e pessimistas, indicadores de potenciais aumentos da temperatura. Esses cenários são analisados com base nas diferentes concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, possíveis de ocorrer até o ano previsto de 2100, com o adicional do impacto dessas emissões, ou seja, o quanto existirá de alteração no balanço de radiação do sistema terrestre. Informações detalhadas acerca das metodologias das simulações podem ser consultadas no relatório da fonte informada.

Tomando como base o proposto pelo IPCC, definiu-se neste trabalho quatro potenciais situações: cenários futuros de aumento de temperatura considerando o valor mínimo previsto de 0,3°C, o valor máximo de 4,8°C e a média entre os valores máximo e mínimo, correspondente a 2,4°C. Outro cenário extremo foi projetado, de 6°C, para verificar o limite de potencial extinção das espécies a serem avaliadas na seção posterior. Esse acréscimo futuro foi projetado para o ano de 2100 (Tabela 1), considerando as mesmas variáveis do mapeamento (temperatura mínima média,

temperatura média e temperatura máxima média) e o período base do conjunto de dados (1970 a 2010).

TABELA 1 - CENÁRIOS DE TEMPERATURA CONSIDERADOS NA SIMULAÇÃO PARA O PARANÁ

Cenários		Aumento da temperatura	Ano
1	Otimista	0,3°C	2100
2	Médio	2,4°C	2100
3	Pessimista	4,8°C	2100
4	Extremo	6,0°C	2100

FONTE: A autora

Para prever os cenários mencionados utilizou-se o simulador estocástico PGECLIMA\_R, cujas temperaturas projetadas terão aumento gradual nos dados diários, considerando a ponderação para dias chuvosos e secos. Para cada valor simulado dentro de cada estação meteorológica, o processo foi repetido cinco vezes e usada a média das repetições, a fim de garantir a acurácia. Os dados foram espacializados em ambiente SIG e interpolados pela geoestatística de modo a representar a previsão da temperatura para toda a área do Estado. Foram gerados por fim 12 mapas de possíveis cenários futuros (4 cenários de temperatura cada qual com 3 variantes de temperaturas – máxima, média e mínima) para análise de potenciais cenários climáticos no Paraná.

O total de mapas resultante da combinação dos fatores considerados permitirá abranger distintas possibilidades de ocorrência do clima, o que tornará a avaliação mais robusta. Mapas de erro também foram gerados, afim de demonstrar os resíduos associados a cada classe de simulação. Os métodos aqui empregados serão comparados com os principais cenários propostos na literatura, cujo objetivo foram analisar e prever a caracterização do clima para o Brasil, visando reconhecer o potencial das ferramentas utilizadas em detrimento de outras técnicas e validá-la, considerando os aspectos de acessibilidade e praticidade para simulação de cenários futuros no Estado do Paraná.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.3.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

O conjunto de dados usados nesse trabalho, composto pelas variáveis temperatura máxima média, temperatura média, temperatura mínima média,



precipitação média e altitude foram examinados, organizados e descritos para averiguação de consistência e comportamento. As estatísticas descritivas associadas estão representadas na Tabela 2.

TABELA 2 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS DE TEMPERATURA MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA CORRESPONDENTES AS DÉCADAS DO ESTUDO (1970; 1980; 1990; 2000) PARA O PARANÁ

Décadas	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	CV (%)
Temperatura Mínima (°C)						
1970	14,99	15,4	11,56	17,7	3,64	13
1980	15,31	15,73	11,6	18,44	3,60	12
1990	15,46	15,84	12,08	18,7	3,66	12
2000	15,42	15,81	12,06	18,8	3,59	12
Temperatura Média (°C)						
1970	20,46	21,12	17,13	23,19	3,43	7
1980	20,66	21,35	17,14	24,1	3,52	9
1990	20,77	21,39	17,24	24,28	3,64	9
2000	20,83	21,46	17,52	24,21	3,50	9
Temperatura Máxima (°C)						
1970	25,93	26,09	22,41	29,06	3,78	9
1980	26,01	26,18	22,49	30,4	3,99	8
1990	26,08	26,31	22,31	30,46	4,10	8
2000	26,25	26,35	22,58	30,04	3,93	8

FONTE: A autora

A similaridade entre os valores da média e mediana para as três temperaturas em todas as décadas observadas é indício da tendência à distribuição normal dos dados. Observa-se ainda os baixos valores da variância e coeficiente de variação.

Cabe ressaltar que, para a aplicação da Krigagem Ordinária e Cokrigagem, técnicas utilizadas na espacialização destes dados, a não normalidade não é impeditivo. Embora haja a possibilidade em realizar transformações nos dados, a realização desse procedimento implicaria em uma suavização das variações inerentes ao fenômeno em estudo, lógica contrária aos objetivos deste trabalho, que dentre outras questões, visa ao mapeamento da variabilidade dos processos climáticos.

Análises de correlação gráfica também foram construídas entre as variáveis propostas, buscando entender como estas variam conjuntamente em intensidade e direção, fazendo assim melhor uso das mesmas (Figura 10). Constata-se a irrefutável dependência entre as temperaturas e a altitude, em que quanto maior a altitude, menor a temperatura, justificando a utilização da mesma como variável

secundária na aplicação da Cokrigagem. Nota-se que o intervalo entre os pontos no gráfico justifica-se pela ausência de estações meteorológicas nas faixas de altitudes correspondentes. Para o Estado do Paraná, em estudo específico sobre essa vinculação, Fritzsons et al. (2008) observaram relação indissociável entre a temperatura a altitude. Em complemento, Maack (1981) cita uma alteração de  $0,5^{\circ}\text{C}$  para cada 100 metros de altitude no Estado.

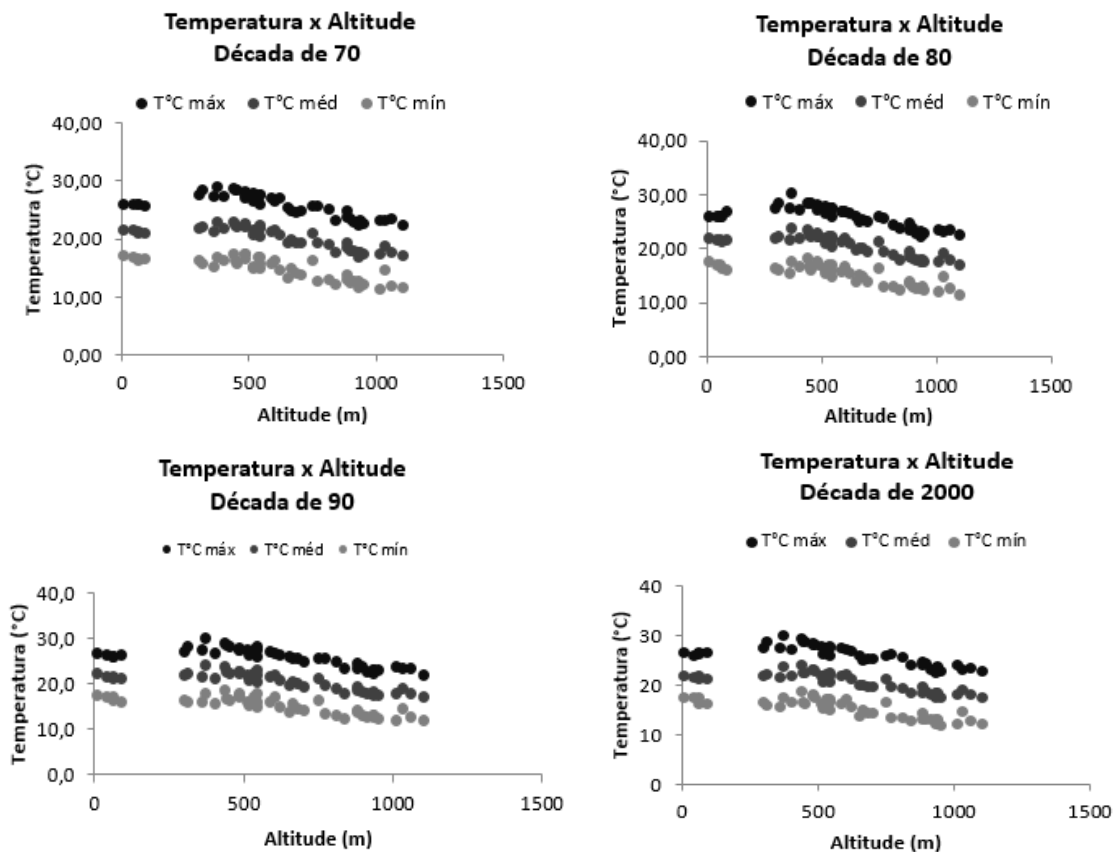


FIGURA 10 - GRÁFICO DE CORRELAÇÃO ENTRE A ALTITUDE E AS TEMPERATURAS MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA PARA AS DÉCADAS DE 1970, 1980, 1990 E 2000, RESPECTIVAMENTE  
 FONTE: A autora

Os dados da precipitação, cuja ocorrência de dias chuvosos e secos foram tratados distintamente na ponderação da temperatura, também foram representados graficamente, e demonstraram que as temperaturas mínimas são encontradas nas maiores precipitações (Figura 11). Em coerência, Virgens Filho (1997) destacou que temperaturas máxima e mínima são influenciadas pela ocorrência de precipitação. Não só na atmosfera, mas também nos Oceanos, essa relação entre temperatura e precipitação é amplamente demonstrada na literatura (ANDREOLI et al., 2004; MOURA et al., 2009; LIMA e SANTOS, 2011).

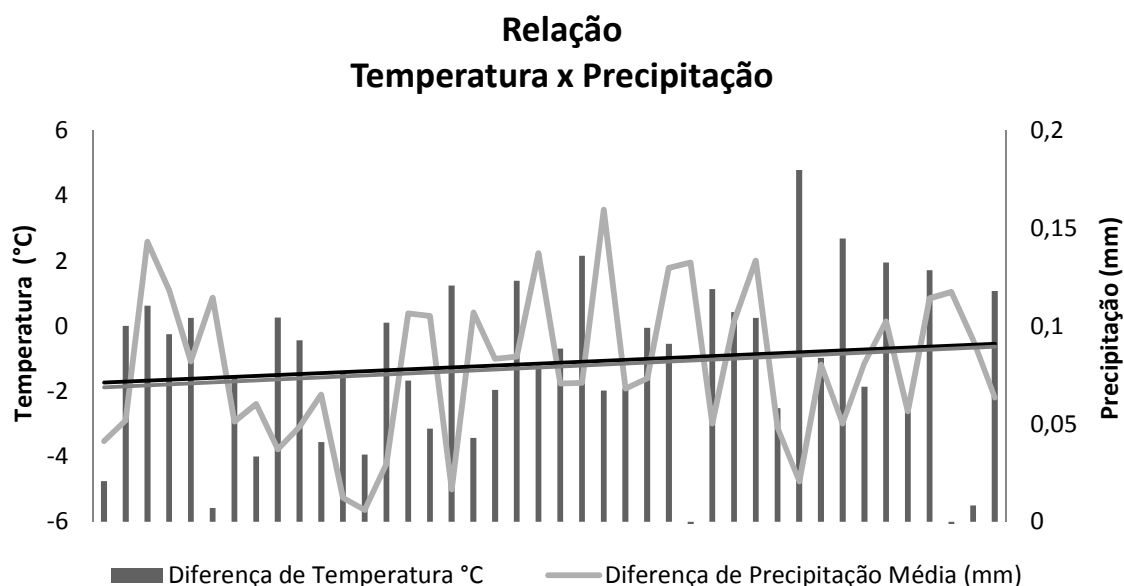


FIGURA 11 - GRÁFICO DE RELAÇÃO DAS DIFERENÇAS ENTRE OS TOTAIS HISTÓRICOS E ESTIMADOS DA PRECIPITAÇÃO E A TEMPERATURA MÉDIA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 NO PARANÁ

FONTE: A autora

### 2.3.2 MAPEAMENTO E SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA PARA O PARANÁ

No mapeamento histórico das temperaturas do Estado do Paraná utilizou-se o conjunto de dados cujas falhas foram preenchidas pelo software PGECLIMA\_R. Foram sorteadas 5 estações entre as 45 totais para validação, compondo portanto 10% do total amostral. Nestas amostras, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para dias chuvosos e secos, assim analisando a consistência na estimativa para ambas as situações. É possível ainda distinguir entre temperatura mínima e máxima, e os meses de análise. Para fins de confirmação da eficiência já demonstrada na literatura (VIRGENS FILHO et al., 2013; VIRGENS FILHO et al., 2014), analisou-se nas 5 estações a temperatura mínima para o mês de Janeiro.

Os dados sintéticos gerados pela função de distribuição de probabilidade Normal não demonstraram diferença significativa entre os dados reais e simulados para dias chuvosos e secos (Tabela 3).

TABELA 3 - VALIDAÇÃO PELO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DAS SIMULAÇÕES DE TEMPERATURA MÍNIMA GERADAS EM DIAS CHUVOSOS E SECOS PELO PGECLIMA\_R

Estação	Kolmogorov-Smirnov		
	D calc	D 5%	D1%
Dias chuvosos			
1	0,0366	0,0742	0,0890
2	0,0281	0,0552	0,0662
3	0,0387	0,0788	0,0944
4	0,0314	0,0649	0,0778
5	0,0354	0,0739	0,0886
Dias secos			
1	0,0227	0,0586	0,0702
2	0,0191	0,0567	0,0679
3	0,0471	0,0832	0,0997
4	0,0339	0,0652	0,0781
5	0,0222	0,0585	0,0704

FONTE: A autora

Com a composição dos dados, empregou-se a técnica geoestatística para espacialização da temperatura em todo Estado. Interpoladores e modelos foram testados para análise da habilidade dos mesmos em representar o fenômeno objeto do estudo. Os critérios estatísticos de seleção dos modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano para Krigagem Ordinária estão dispostos na Tabela 4.

Como pode-se observar, por meio dos critérios RMS e RMSS, na análise das temperaturas por década, houve uma semelhança no ajuste dos modelos Exponencial e Esférico, com tendência de superioridade para o modelo Exponencial (Figuras 12, 13 e 14). O critério de desempate ponderou maior peso dos resultados fornecidos pelo parâmetro de GD (%), tendo em vista sua importante relevância na aplicação da técnica em questão, a qual é imprescindível a existência da dependência espacial. Desse modo, conforme interpretação proposta por Cambardella et al. (1994), quanto menores os valores de GD (%), maior a força de correlação espacial, e respeitando essa premissa, o modelo Exponencial demonstrou ser o mais adequado para espacialização das temperaturas em todas as décadas estudadas. O modelo Gaussiano foi o menos indicado, representado pelos maiores erros.

TABELA 4 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS MODELOS TESTADOS PARA INTERPOLAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA PELA KRIGAGEM ORDINÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ

Temperaturas	Krigagem Ordinária								
	RMS			RMSS			GD (%)		
	Esférico	Expo	Gauss	Esférico	Expo	Gauss	Esférico	Expo	Gauss
Anos 70									
T mín	1,11	1,11	1,19	0,76	0,72	0,81	32,35	21,10	44,48
T méd	1,06	1,05	1,09	0,78	0,76	0,82	25,26	9,05	37,63
T máx	1,20	1,22	1,22	0,86	0,86	0,88	23,23	7,03	36,91
Anos 80									
T mín	1,03	1,01	1,08	0,74	0,72	0,80	25,00	5,67	35,55
T méd	1,09	1,08	1,13	0,79	0,78	0,84	20,10	3,32	30,56
T máx	1,29	1,37	1,31	0,87	0,86	0,90	24,40	7,53	38,93
Anos 90									
T mín	1,04	1,03	1,07	0,75	0,73	0,80	25,27	6,10	37,11
T méd	1,04	1,06	1,06	0,77	0,78	0,81	19,58	2,56	31,95
T máx	1,24	1,25	1,26	0,84	0,84	0,87	21,47	6,84	34,30
Anos 2000									
T mín	1,04	1,03	1,08	0,74	0,73	0,79	33,17	15,35	46,82
T méd	1,03	1,05	1,05	0,78	0,80	0,82	19,75	4,34	30,37
T máx	1,23	1,25	1,24	0,87	0,87	0,89	24,00	8,25	35,98

RMS = erro médio; RMSS = raiz do erro médio quadrático; GD (%) = grau de dependência espacial; Expo = exponencial; Gauss = Gaussiano

FONTE: A autora

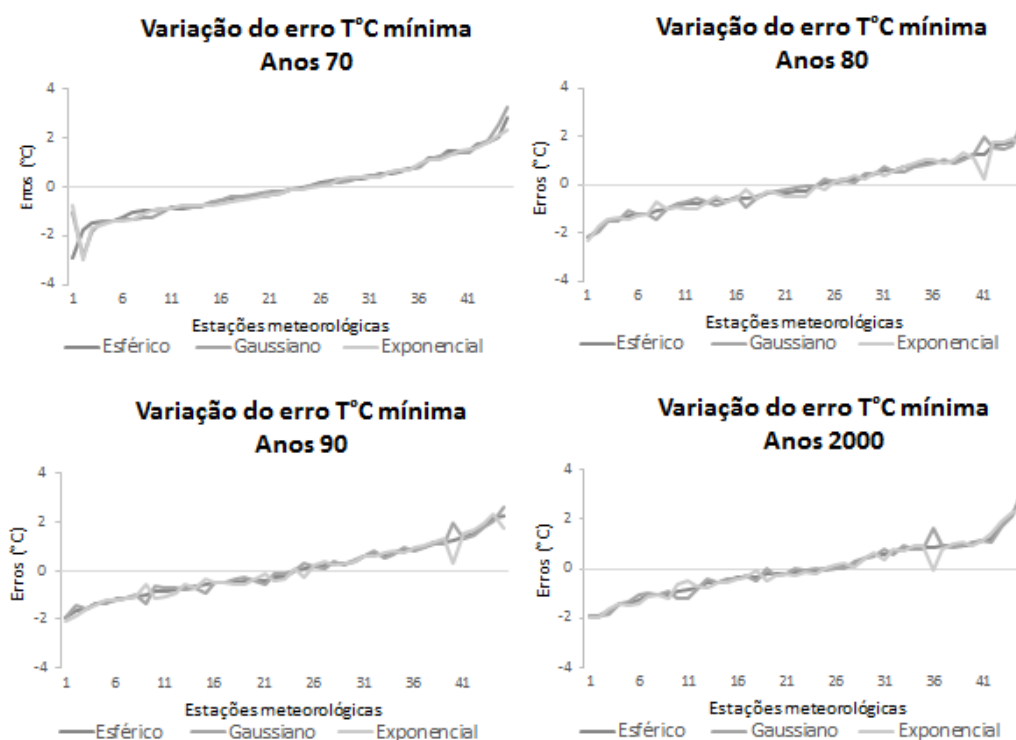


FIGURA 12 - GRÁFICO DOS ERROS ASSOCIADOS AOS MODELOS ESFÉRICO, GAUSSIANO E EXPONENCIAL PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÍNIMA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 PARA O PARANÁ

FONTE: A autora

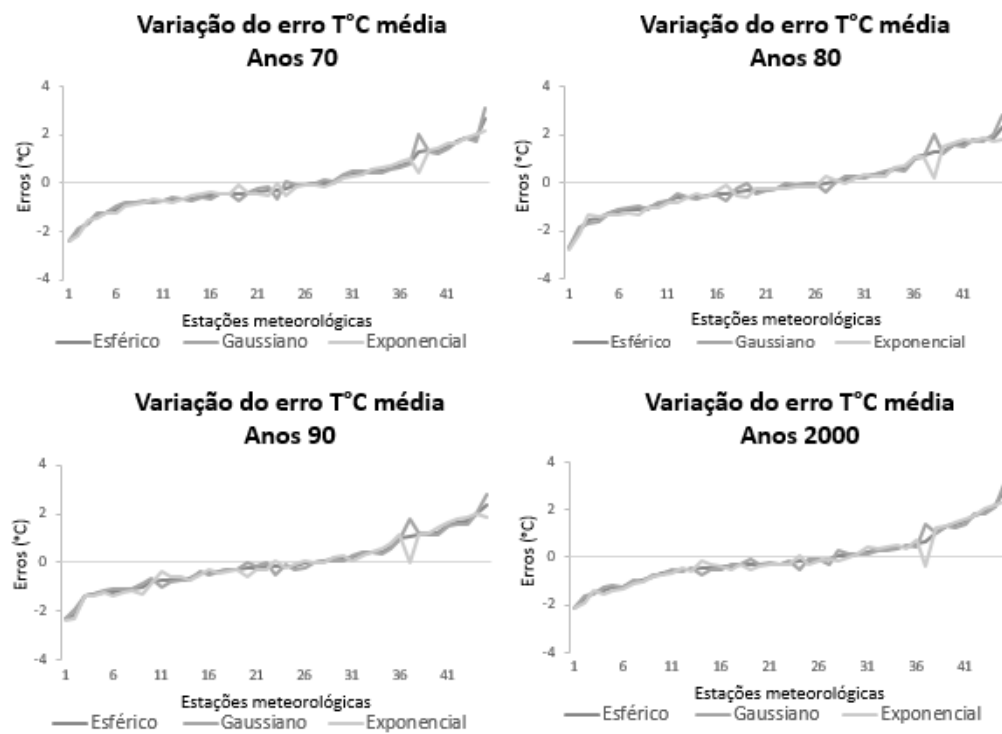


FIGURA 13 - GRÁFICO DOS ERROS ASSOCIADOS AOS MODELOS ESFÉRICO, GAUSSIANO E EXPONENCIAL PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 PARA O PARANÁ  
 FONTE: A autora

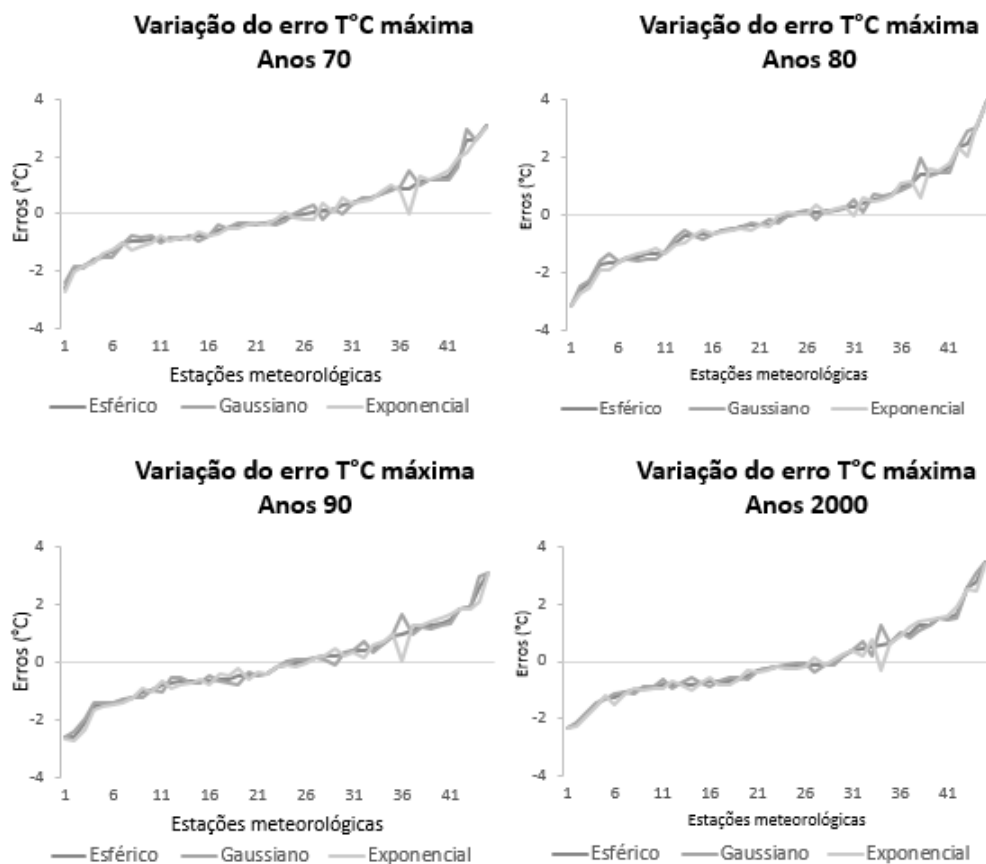


FIGURA 14 - GRÁFICO DOS ERROS ASSOCIADOS AOS MODELOS ESFÉRICO, GAUSSIANO E EXPONENCIAL PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA NO PERÍODO DE 1970 A 2010 PARA O PARANÁ  
 FONTE: A autora

Tal qual demonstrado nesse trabalho, Dallacort et al. (2012) também observaram bom desempenho do modelo exponencial através dos mesmos critérios de ajuste para interpolação da precipitação na região nordeste no Pantanal Mato-grossense. Assad et al. (2003) observaram acurácia dos modelos exponencial e esférico para temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo.

É notório, em análise de diversos trabalhos que mapearam variáveis climáticas no Brasil, que interpoladores e modelos têm comportamento específico para os conjuntos de dados observados. Essa variabilidade de performance pode ser comprovada nos trabalhos de Melem (2002), que observou superioridade do modelo esférico para a interpolação da temperatura média do Paraná; em Siqueira et al. (2006), que concluíram não ser possível fazer uso de apenas um único modelo para caracterizar a distribuição da precipitação em Minas Gerais; e em Mota (2008),

que encontraram melhor desempenho do modelo Gaussiano para temperatura média em Juiz de Fora – MG.

Em função dos resultados positivos obtidos pelo modelo exponencial em todas as décadas e todas as temperaturas estudadas na Krigagem Ordinária, admitiu-se a preponderância deste testando-o diretamente na Cokrigagem, cuja variável secundária adotada foi a altitude, comparando este ao primeiro interpolador (Tabela 5). Wanderley et al. (2009) trabalhando a interpolação da temperatura pela Krigagem em Alagoas observaram que para estudos em territórios que apresentam grandes diferenças em altitudes, a influência desse fator deve ser considerada, tendo em vista que a mesma interfere na redução da temperatura e precipitação.

TABELA 5 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS INTERPOLADORES COKRIGAGEM E KRIGAGEM ORDINÁRIA USANDO O MODELO EXPONENCIAL PARA ESPACIALIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÁXIMA, MÉDIA E MÍNIMA NO ESTADO DO PARANÁ

Cokrigagem				Krigagem			
Temperaturas	RMS	RMSS	GD (%)	Temperaturas	RMS	RMSS	GD (%)
	Exponencial				Exponencial		
	Década de 70				Década de 70		
T mín	0,81	0,57	17,39	T mín	1,11	0,72	21,10
T méd	0,91	0,68	9,04	T méd	1,05	0,76	9,05
T máx	1,02	0,75	7,14	T máx	1,22	0,86	7,03
Década de 80				Década de 80			
T mín	0,77	0,61	3,40	T mín	1,01	0,72	5,67
T méd	0,82	0,63	3,23	T méd	1,08	0,78	3,32
T máx	1,10	0,75	7,50	T máx	1,37	0,86	7,53
Década de 90				Década de 90			
T mín	0,80	0,63	6,84	T mín	1,03	0,73	6,10
T méd	0,80	0,63	2,52	T méd	1,06	0,78	2,56
T máx	1,03	0,72	4,06	T máx	1,25	0,84	6,84
Década de 2000				Década de 2000			
T mín	0,82	0,63	4,45	T mín	1,03	0,73	15,35
T méd	0,81	0,66	8,33	T méd	1,05	0,80	4,34
T máx	1,05	0,76	7,90	T máx	1,25	0,87	8,25

FONTE: A autora

A análise da Tabela 5 permite admitir que o interpolador da Cokrigagem demonstrou menores erros e maior dependência espacial em todas as temperaturas avaliadas para todo o período de tempo (1970-2010). Esse resultado já era



esperado, tendo em vista a alta correlação entre as variáveis consideradas, anteriormente demonstrada. Viola et al. (2010) também indicaram o uso da Cokrigagem, igualmente associada à altitude, para o mapeamento da precipitação do Estado de Minas Gerais, em superioridade a técnica da Krigagem, apresentando os menores erros.

Por sua menor variação, a temperatura média foi escolhida para representar graficamente a variação das estimativas pelos diferentes interpoladores, relacionando-os com os valores reais, conforme Figura 15. A distribuição desses valores permitiram certificar a melhor acurácia da Cokrigagem, já demonstrada numericamente pelos critérios de ajuste.

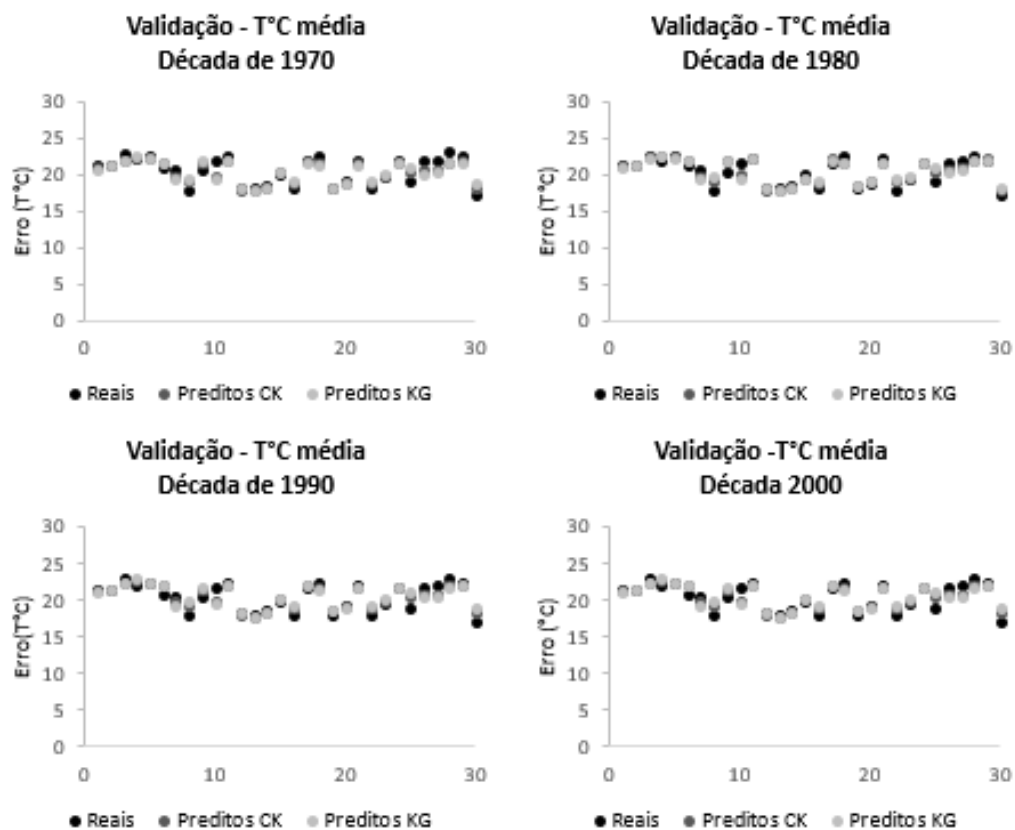


FIGURA 15 - VARIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DA TEMPERATURA MÉDIA PELO INTERPOLADOR DE COKRIGAGEM E KRIGAGEM ORDINÁRIA EM RELAÇÃO AOS VALORES REAIS NO PERÍODO DE 1970 A 2010. CK = Cokrigagem; KG = Krigagem  
 FONTE: A autora

Separou-se um conjunto de amostras com 10 estações e os mesmos procedimentos de estimativas realizadas pela Cokrigagem foram aplicados para validar a consistência do referido interpolador (Figura 16). Nesse processo de validação por separação, observou-se a boa acurácia das estimativas, em que os dados estimados estão próximos aos reais.

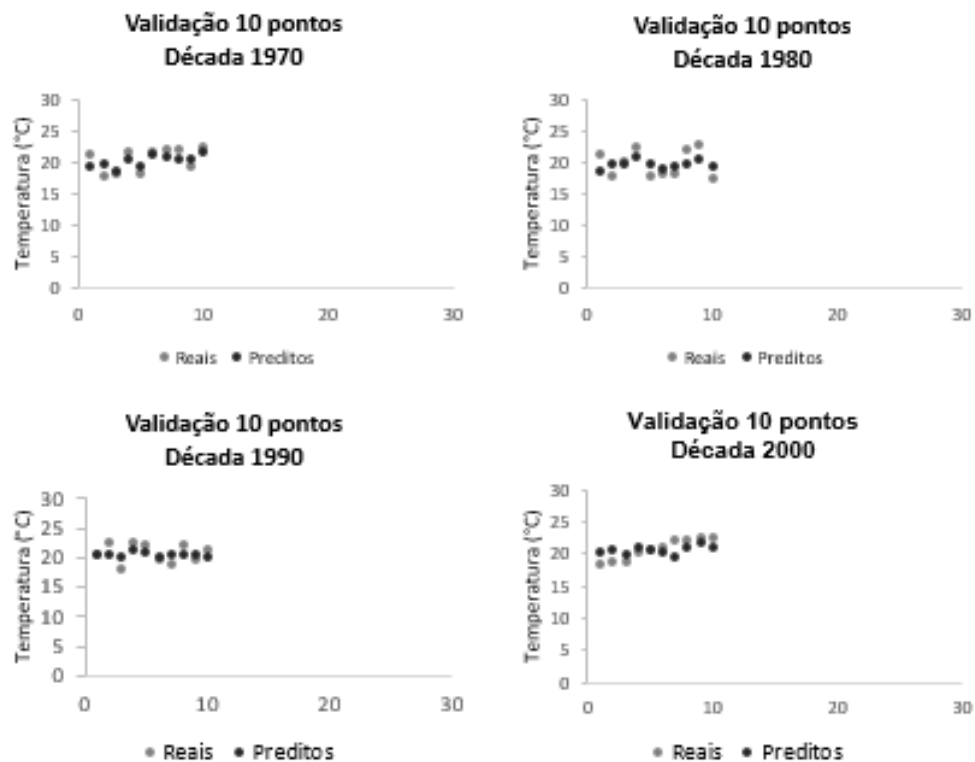


FIGURA 16 - VALIDAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS SEPARADOS PARA APLICAÇÃO DA COKRIGAGEM  
 FONTE: A autora

De posse do melhor interpolador, procedeu-se a aplicação da geoestatística, gerando-se mapas que facultaram a investigação da temperatura mínima, média e máxima para o Paraná nas décadas de 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999 e 2000-2010 (Figuras 17, 18 e 19). O mapeamento revelou um aquecimento no Paraná para o período e variantes da temperatura estudados, representado pelas classes mais escuras. Nota-se que o maior aumento foi observado na temperatura mínima, indicando uma elevação da média de temperaturas mínimas.

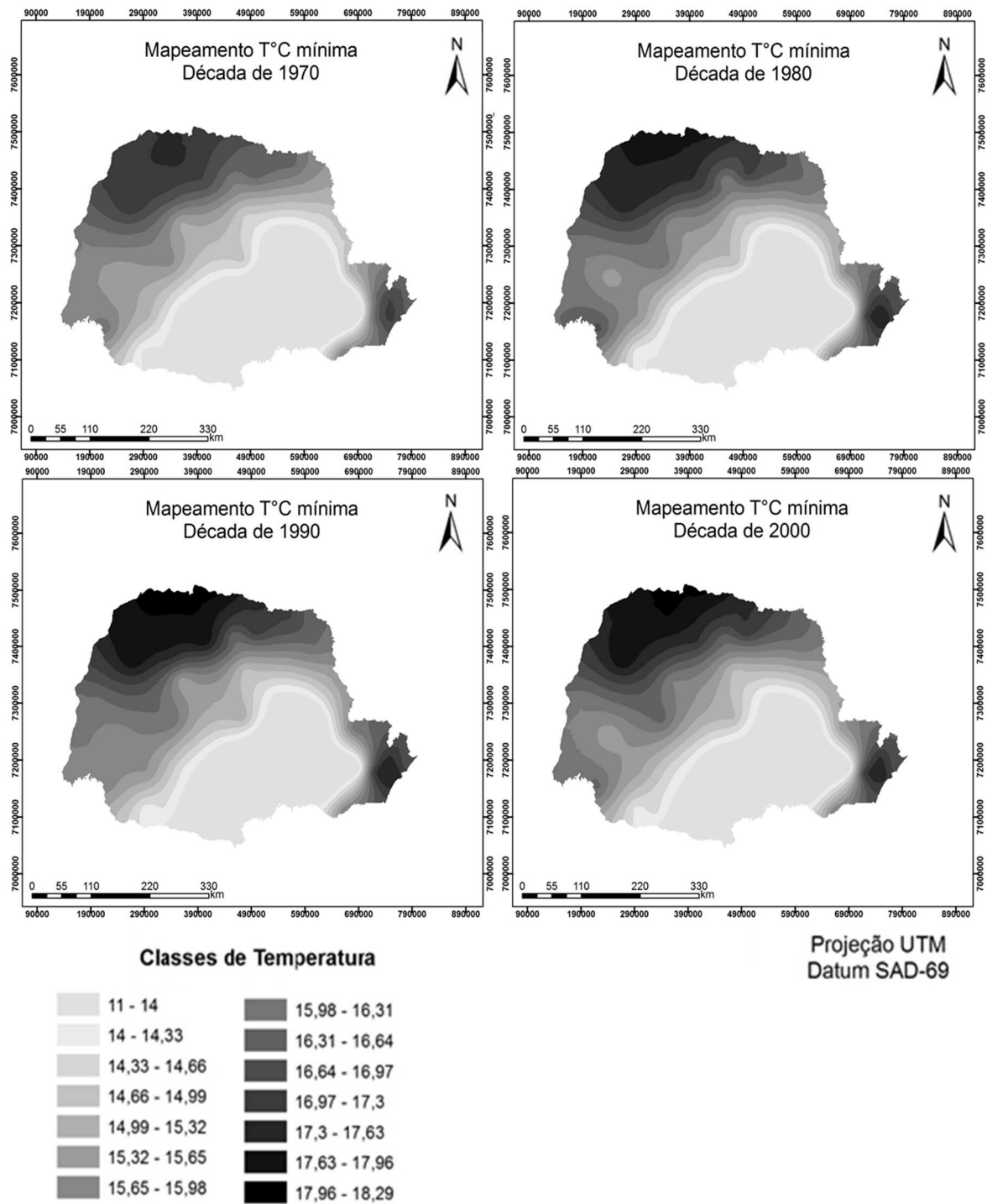


FIGURA 17 - MAPEAMENTO DA TEMPERATURA MÍNIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ DE 1970 A 2010  
FONTE: A Autora

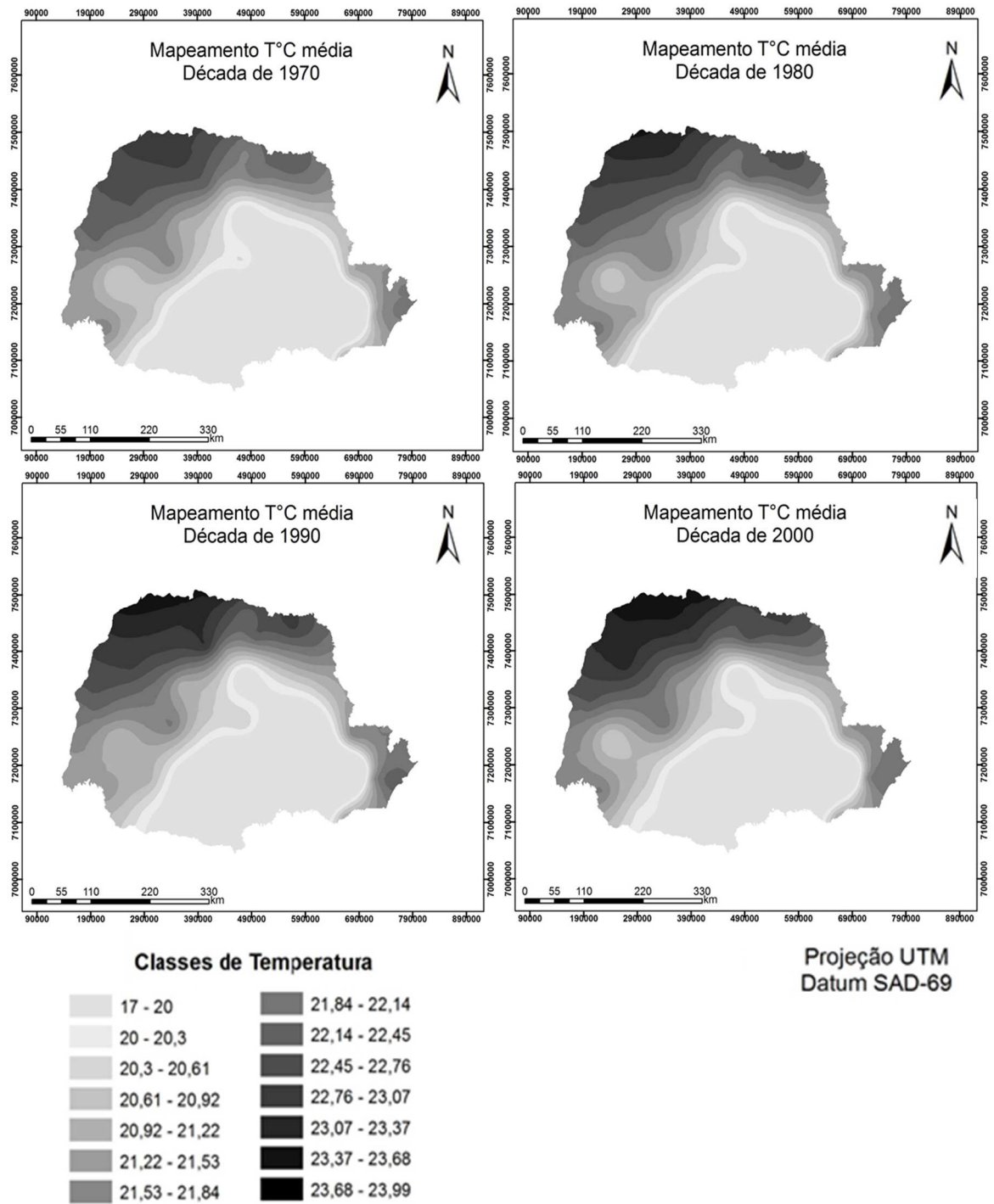


FIGURA 18 - MAPEAMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA PARA O ESTADO DO PARANÁ DE 1970 A 2010

FONTE: A Autora

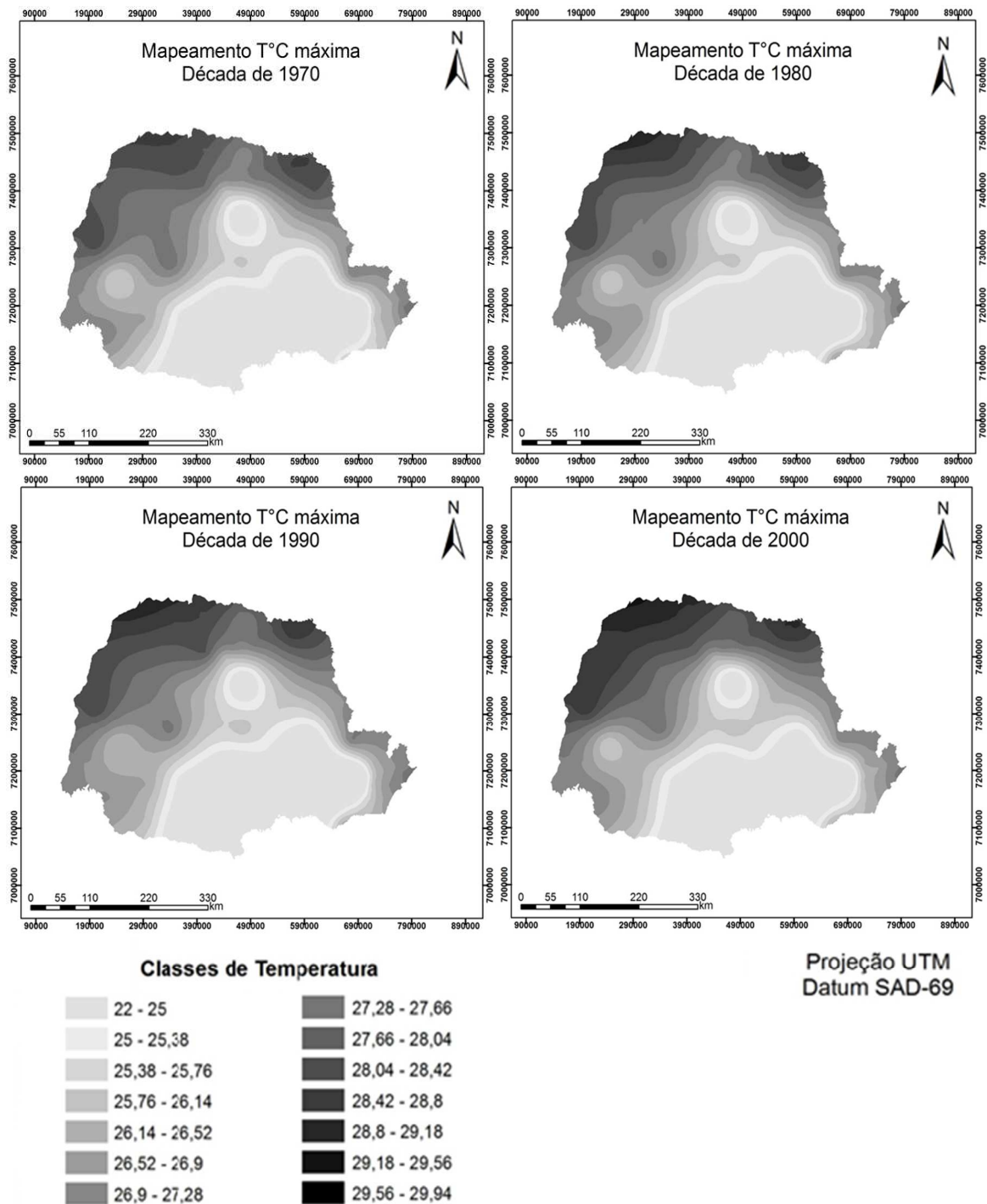


FIGURA 19 - MAPEAMENTO DA TEMPERATURA MÁXIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ DE 1970 A 2010

Fonte: A autora

O trabalho de Gasparotto et al. (2005) objetivou verificar tendências de possíveis aumentos em uma série de dados de temperaturas máxima, média e mínima, precipitação e excesso hídrico para o Paraná, porém, usando análise de regressão, com base em dados de estações meteorológicas do Estado entre os anos de 1965 a 2005. Os autores observaram uma tendência de aumento nas

temperaturas avaliadas, com maior evidência também para temperatura mínima, cujos aumentos atingiram de 1°C a 1,5°C.

Igualmente com a proposta de analisar tendências de mudanças nos padrões de temperatura (máxima, média e mínima) e precipitação no período de 1961 a 2008 para Londrina, Paraná, Ricce et al. (2009) também concluíram por meio de regressão linear que as temperaturas aumentaram em função do aumento das temperaturas mínimas, premissa já comprovada pelo trabalho de Sangigolo et al. (1992), o qual constatou que as regiões Sul e Sudeste do Brasil vêm apresentando um aquecimento sistemático desde o início do século 20.

Silva e Guetter (2003) postularam a importância da identificação dos efeitos de potenciais mudanças climáticas em escala regional, de modo a aumentar o grau de adaptabilidade do sistema e portanto auxiliar na definição dos limites de interferência humana em cada ambiente, minimizando danos. Neste trabalho, também analisando alguns municípios do Paraná, verificou-se aumento da frequência de chuvas desde a década de 1970 para União da Vitória, assim como tendência no aumento da temperatura mínima em Ponta Grossa.

Nobre (2008b) contextualizou as mudanças climáticas para o Brasil, afirmando um aumento de temperatura já observado de 0,75°C nos últimos 50 anos e para a temperatura mínima, um aumento de 1°C. Esse indicativo demonstra que a elevação das temperaturas mínimas é uma realidade em todo país. Nas regiões Sul e Sudeste, já ocorrem mais ondas de calor, menor número de noites frias e ainda aumento da ocorrência de chuvas intensas, que traz como consequência aumento nos desastres naturais. Para o autor, esse já é um quadro preocupante em todo país.

Concordando com a tendência demonstrada no último relatório (AR5) do IPCC (2013), o Paraná demonstrou que cada uma das três últimas décadas tem sido sucessivamente mais quente. A elevação da temperatura observada e corroborada pelos estudos apresentados, com inclusão desse trabalho, pode estar relacionada com a intensa exploração florestal ocorrida na região Sul, o que segundo Klein (1985) e Guerra et al. (2000) representou com grande significância o histórico de ocupação desta região.

Essa realidade anunciada concorda com os dados do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil (SEPED, 2013), o qual evidencia que a mudança de uso da terra e desflorestamento são as principais fontes de emissão de

gases que contribuem para o aquecimento da atmosfera. A maior exposição do solo também provoca aumento do calor armazenado durante o dia, o que pode influenciar para elevação das temperaturas mínimas (GASPAROTTO et al., 2005). Outras atividades antrópicas importantes como agropecuária, processos industriais, tratamento de resíduos, uso de energia e ampliação de zonas urbanas devem ser também consideradas na análise das elevações de temperatura observadas no Estado.

No âmbito dos ecossistemas florestais, alguns estudos já indicaram que determinados biomas serão muito vulneráveis às mudanças no clima, retrocedendo do estágio de floresta para outro de menor exuberância ou biodiversidade, chegando até a fisionomia campestre. Ressalta-se ainda que os impactos observados nas principais projeções não ponderam os estresses adicionais para as espécies, decorrentes da fragmentação da paisagem, mudanças no regime de fogo, poluição, introdução de espécies invasoras e ainda o efeito benéfico do aumento da concentração atmosférica do CO<sub>2</sub> e da deposição de nitrogênio podem ocasionar (KRUG, 2008).

Entende-se, dessa forma, que frear o desmatamento se tornou crítico para evitar, entre inúmeros problemas como erosão e compactação do solo, alterações no regime hidrológico e perda de biodiversidade, a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa que tem direcionado o aquecimento do país. No estudo de caso da Floresta com Araucária, que é objeto deste estudo, os remanescentes florestais existentes ainda sofrem perturbações de diferentes formas e amplitudes (CASTELLA e BRITEZ, 2004), fazendo-se necessário não só a implementação e aplicação de legislações eficientes de conservação, mas também o manejo sustentável desses fragmentos, baseado em conhecimentos de dinâmica e comportamento que relacionem os aspectos bioclimáticos com a distribuição das florestas.

Constatada a tendência de aumento de temperatura para a série história avaliada, projetou-se, conforme o IPCC, quatro cenários climáticos (otimista – 0,3°C; intermediário – 2,4°C; pessimista – 4,8°C; extremo – 6,0°C) para posterior análise dessa relação de aquecimento da temperatura com o comportamento de espécies da Floresta Ombrófila Mista. Assim, as Figuras 20, 21 e 22 apresentam os quadros de elevação nas temperaturas mínimas, médias e máximas, respectivamente, possíveis de ocorrer no Paraná.

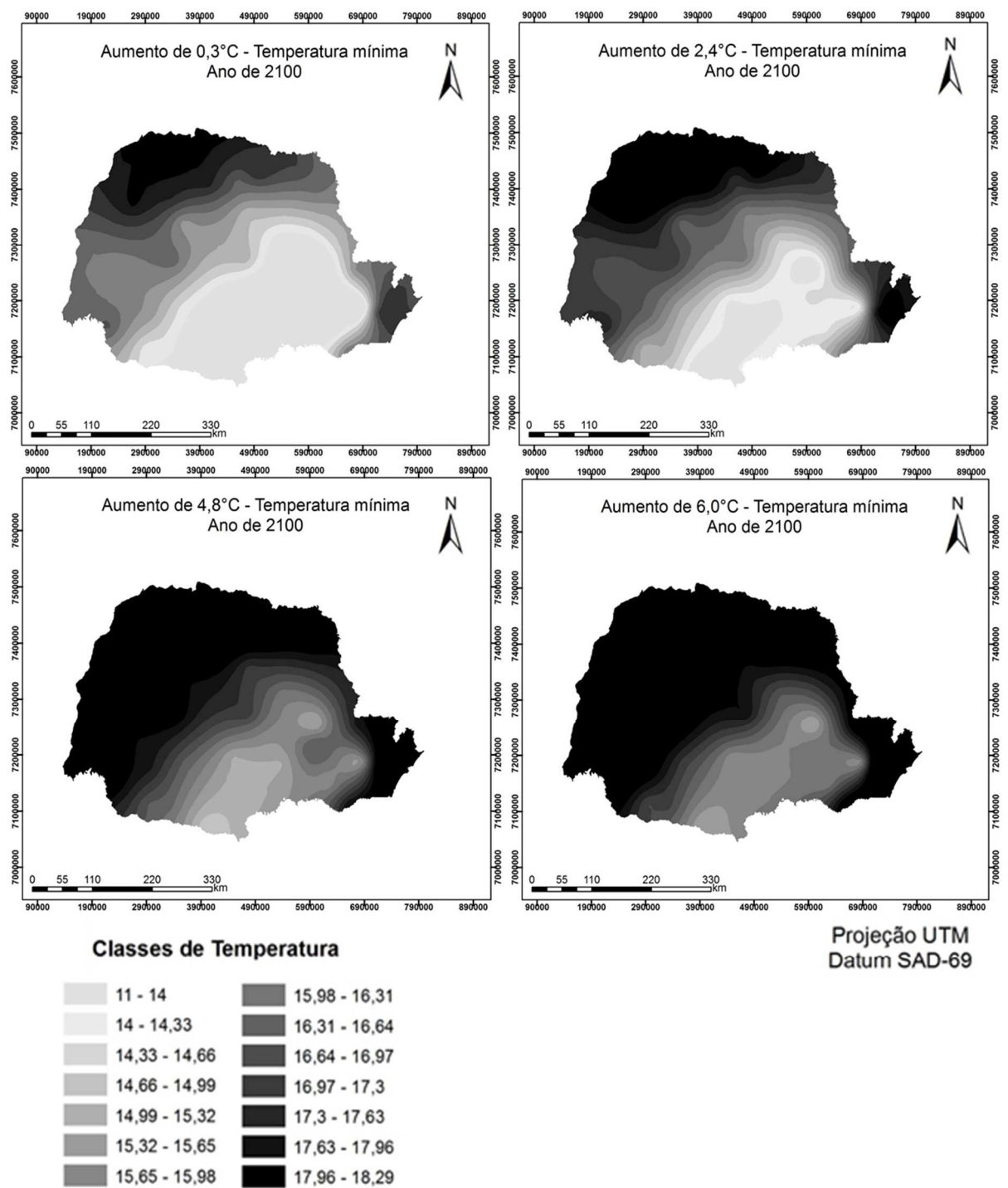


FIGURA 20 - PROJEÇÃO DE AUMENTO DE 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C NA TEMPERATURA MÍNIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100  
FONTE: A autora



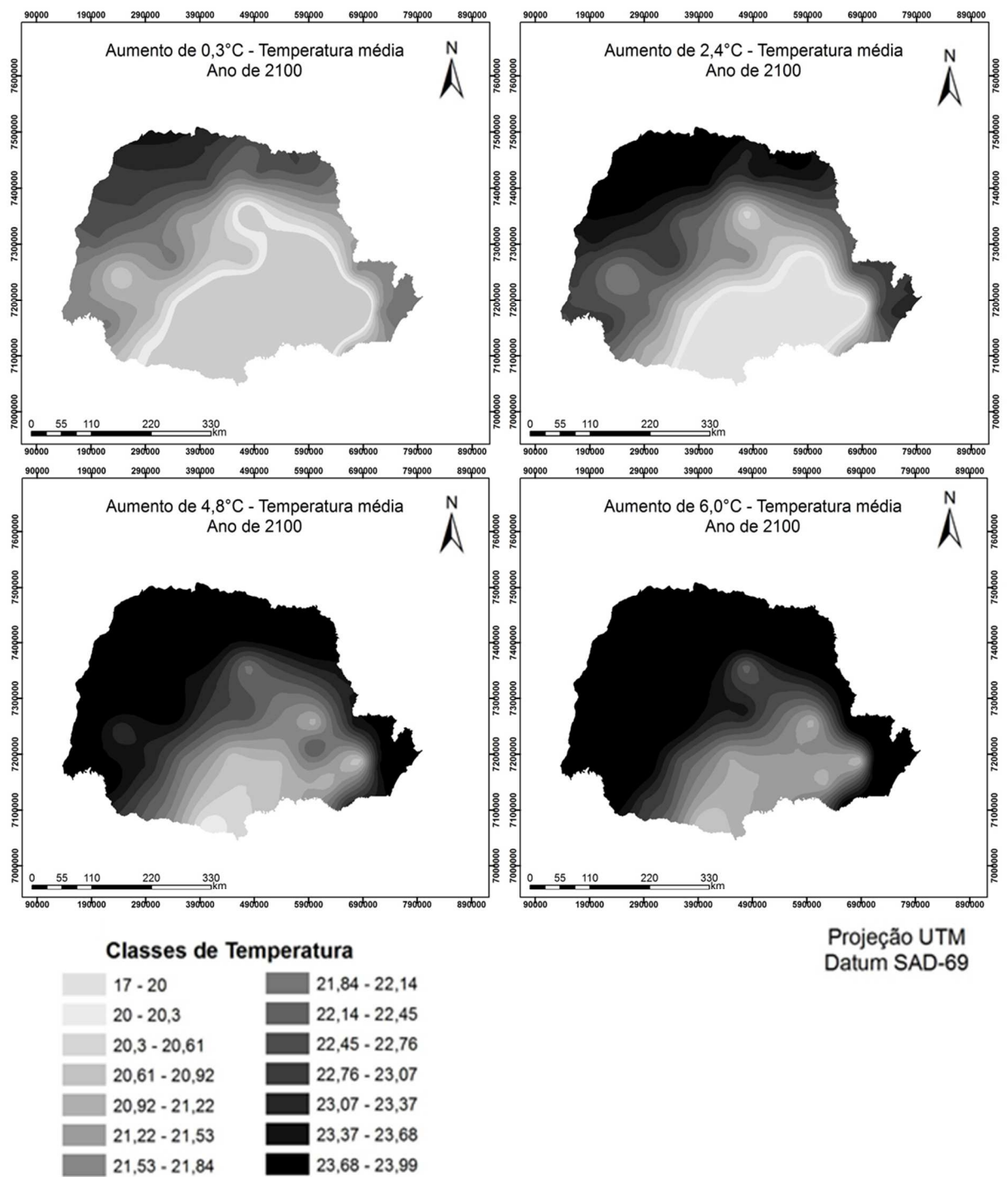


FIGURA 21 - PROJEÇÃO DE AUMENTO DE 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C NA TEMPERATURA MÉDIA PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100  
FONTE: A autora

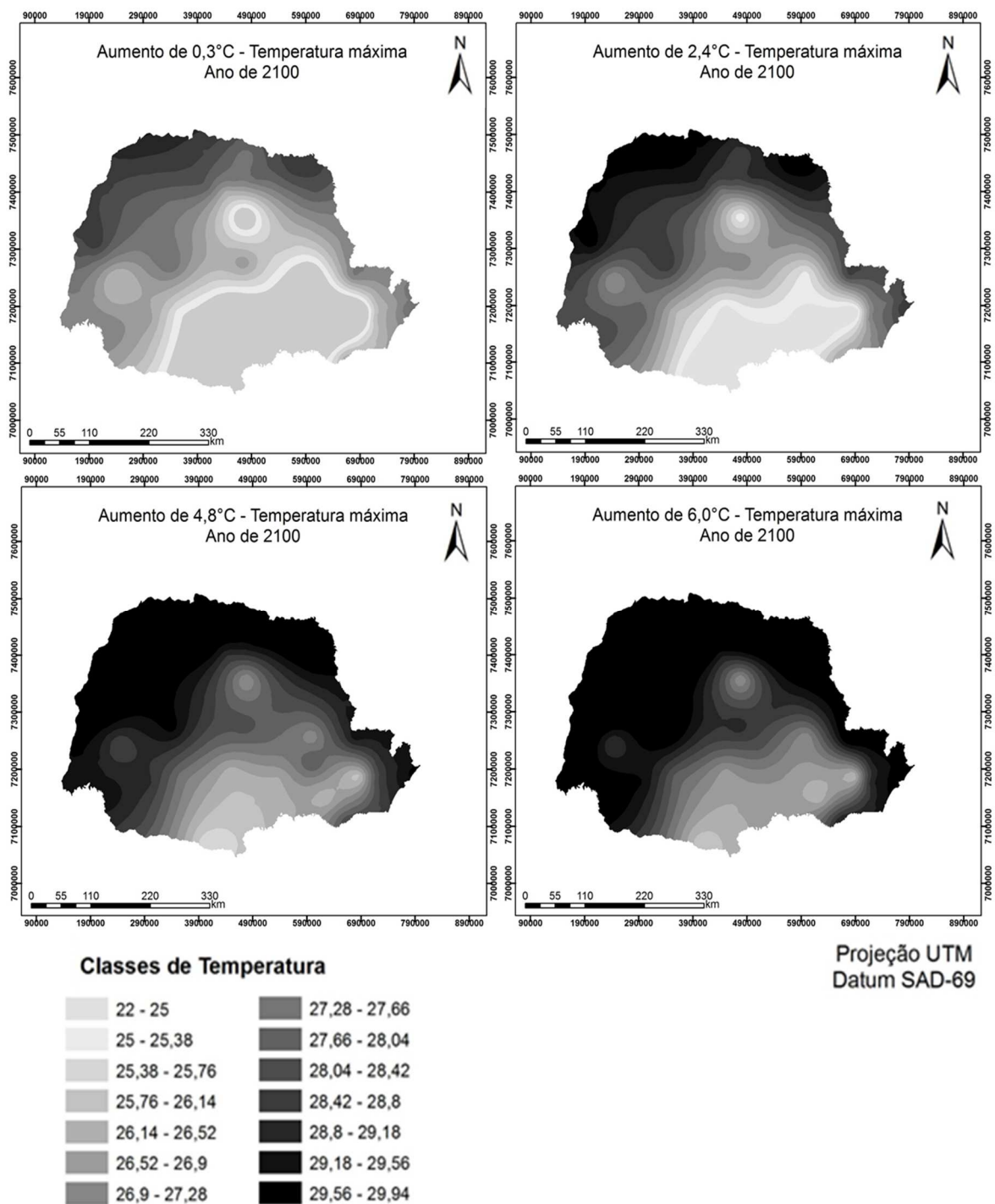


FIGURA 22 - PROJEÇÃO DE AUMENTO DE 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C NA TEMPERATURA MÁXIMA PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100  
FONTE: A autora

As projeções apresentadas acima foram comparadas com cenários publicados pelos principais estudiosos do clima no Brasil e no mundo. Apesar das diferenças de métodos e análises, há um acordo entre os trabalhos quanto ao produto final, que caracteriza elevações de temperatura para várias regiões do globo. Essas caracterizações raramente são dadas em nível local, e sim sempre

relacionando aquecimento global, continental ou por país, o que dificulta confrontos diretos com estudos de escala regional visando a certificação das previsões. Por essa razão, o presente trabalho constitui uma inovação para o Paraná, e pretende servir de base enquanto referência e para ampliação das análises do clima no Estado.

Ressalta-se, em contrapartida, que os estudos que abordam a contextualização das mudanças climáticas e seus efeitos nos diversos campos do conhecimento têm sido desenvolvidos com uma maior frequência desde as últimas décadas até o momento atual. É possível que esse crescimento esteja relacionado com a necessidade da sociedade na busca pelo enfrentamento a essas novas condições, já sentidas em alguns aspectos para determinadas comunidades.

Investigação proposta por Marengo et al. (2006), em seu estudo de avaliação da relação entre as mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade, apresentou panoramas de aquecimento das temperaturas na América do Sul, com proposições também em nível de Brasil. Alguns cenários entre otimistas e pessimistas foram testados por modelos específicos para predição do clima, os quais resultaram em previsões sazonais. A exemplo da primavera, em um cenário otimista para o Paraná, em destaque na Figura 23, as estimativas demonstram aumentos de 1 a 2°C em 2020, 2 a 3°C em 2050, 3 a 4°C em 2080, chegando até 5 a 6°C no noroeste do Estado em 2080. Em estudo posterior, Marengo et al. (2007a) projetaram pelo cenário pessimista, aumentos de até 6°C para a Bacia do Paraná entre 2017 a 2100.

Outra avaliação realizada por Marengo et al. (2007a) prevê aumentos de 2 a 4°C, aumento das chuvas de 5 a 10%, e extremos de temperatura que irão causar invernos mais quentes. Esse estudo já previu também que essas alterações trariam impacto para a Araucária, que será melhor discutido no próximo capítulo. Outros cenários em nível global são amplamente discutidos na literatura, entretanto, o proposto pelo IPCC em seus relatórios é o mais empregado, justificando assim as previsões aqui direcionadas.

Faz-se necessário considerar os desafios e incertezas associadas a modelagem do clima, a qual, por meio de uma variedade de simulações com diferentes modelos, demonstra a capacidade de representar de forma satisfatória o sistema climático. A experimentação e desenvolvimento de métodos de predição tem evoluído cada vez mais para menores incertezas. Betts et al. (2011) consideram

que, embora não seja possível representar todos os detalhes que existem no mundo real nem determinar todos os processos, o que constitui uma incerteza da modelagem, há também que ponderar a variabilidade natural do tempo e do clima.

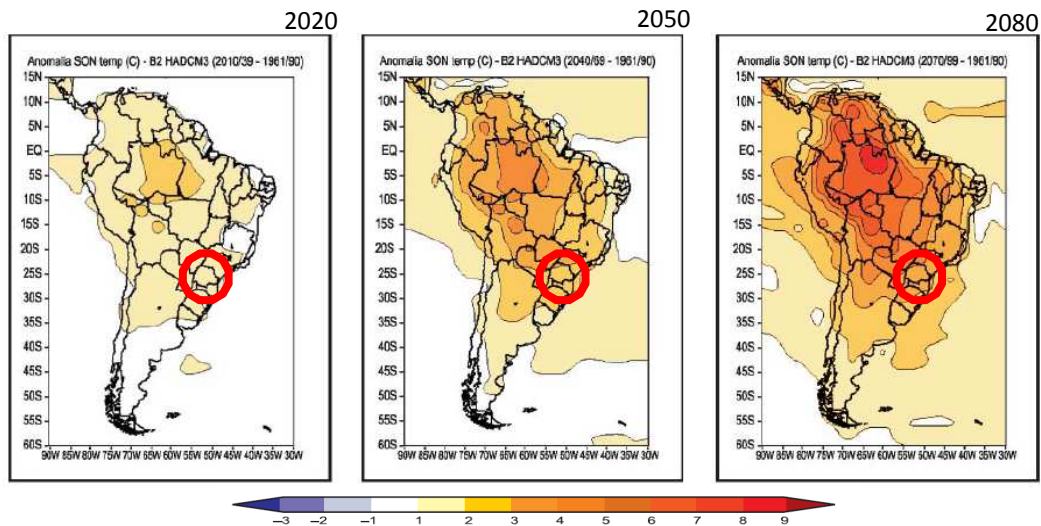


FIGURA 23 - PROJEÇÕES DE ANOMALIAS DE TEMPERATURA PARA SON (SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO - PRIMAVERA) COM REFERÊNCIA AO PERÍODO BASE DE 1961-1990 PARA A AMÉRICA DO SUL. AS PREVISÕES SÃO DO MODELO HADCM3 PARA O CENÁRIO B2 (OTIMISTA)

FONTE: Adaptado de Marengo et al. (2006)

Dias e Dias (2007) elaboraram uma argumentação crítica em seu trabalho que trata das incertezas regionais nos cenários de mudanças climáticas globais, mencionando as dificuldades associadas a resolução espacial das simulações numéricas e pelas interações diversas, muitas vezes desconhecidas ou imensuráveis. Entretanto, os autores salientam a especial e imprescindível vantagem associada a essa modelagem: alterações previstas na temperatura e regimes de chuva podem ter impactos dramáticos em diferentes campos, inclusive na biodiversidade e sobrevivência de biomas naturais, o que torna esse tipo de avaliação favorável a humanidade no direcionamento de ações.

Na literatura, a qualidade dos dados necessários ao desenvolvimento desse tipo de pesquisa é apontada como um obstáculo a elaboração desses estudos. Por essa razão, entende-se que uma interconexão para o compartilhamento de dados entre organismos e instituições de pesquisa facultarão a observância de falhas, a complementaridade de bancos de dados e a troca de conhecimentos, essenciais ao desenvolvimento das ciências. A consolidação de parâmetros nas avaliações podem ainda auxiliar em comparações diretas e verificação da eficácia dos estudos.

Os erros associados a essas previsões foram igualmente projetados para todas as temperaturas (mínima, média e máxima x aumentos de 0,3°C, 2,4°C, 4,8°C e 6,0°C), e variaram em uma escala de 0,75°C a 2,24°C (Figuras 24, 25 e 26).

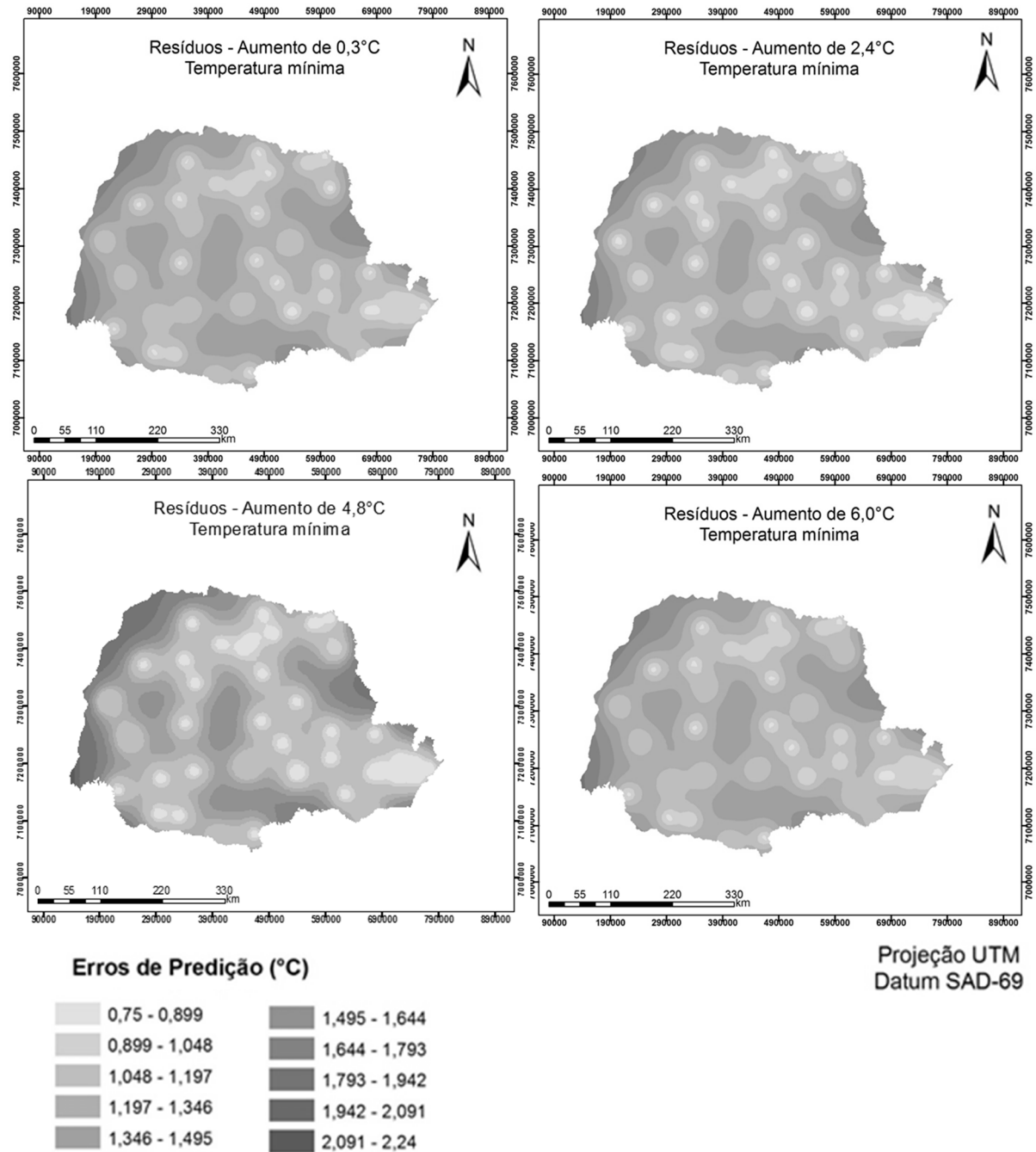


FIGURA 24 - PROJEÇÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA MÍNIMA EM 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100  
FONTE: A autora

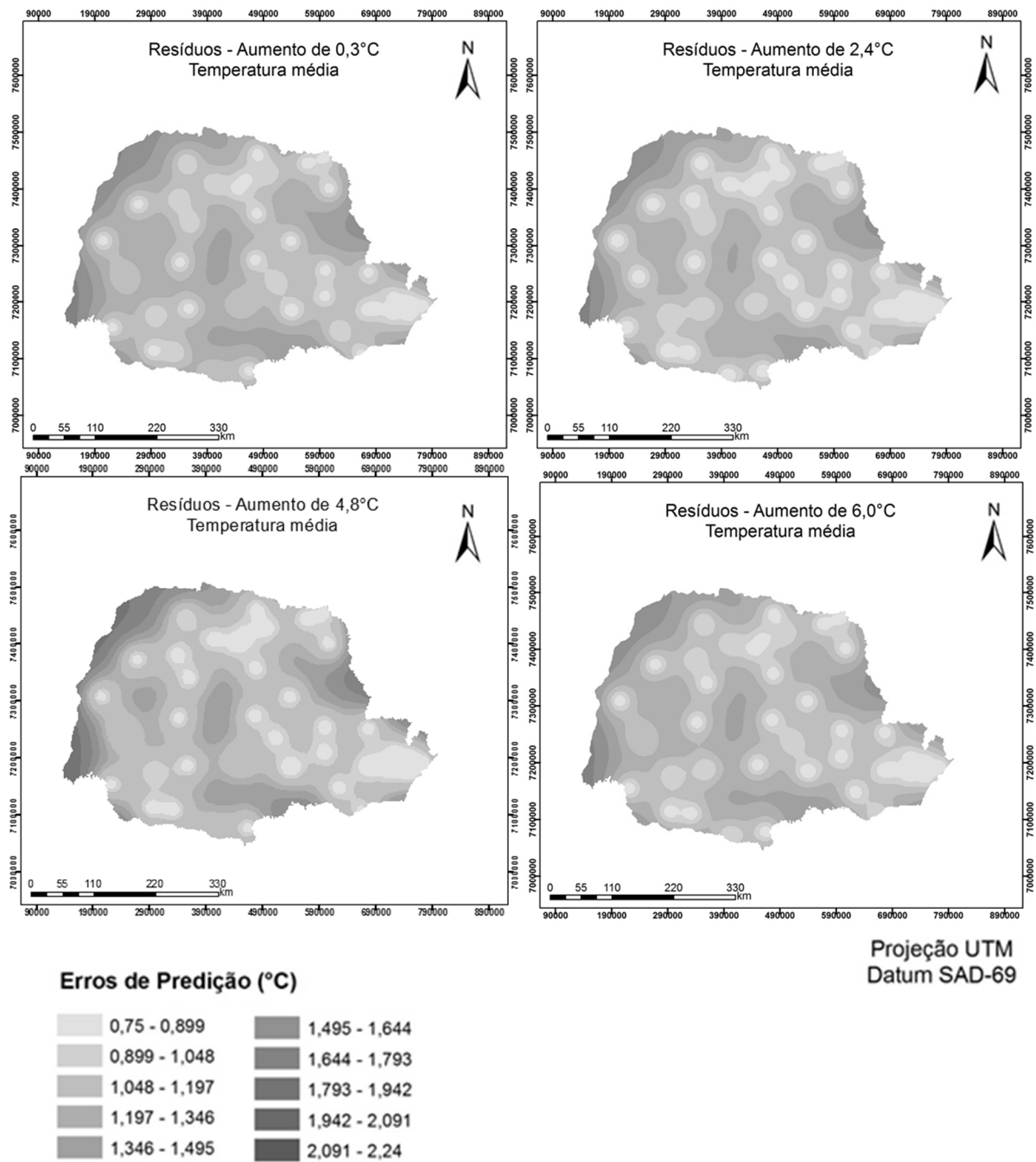


FIGURA 25 - PROJEÇÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA EM 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100  
FONTE: A autora

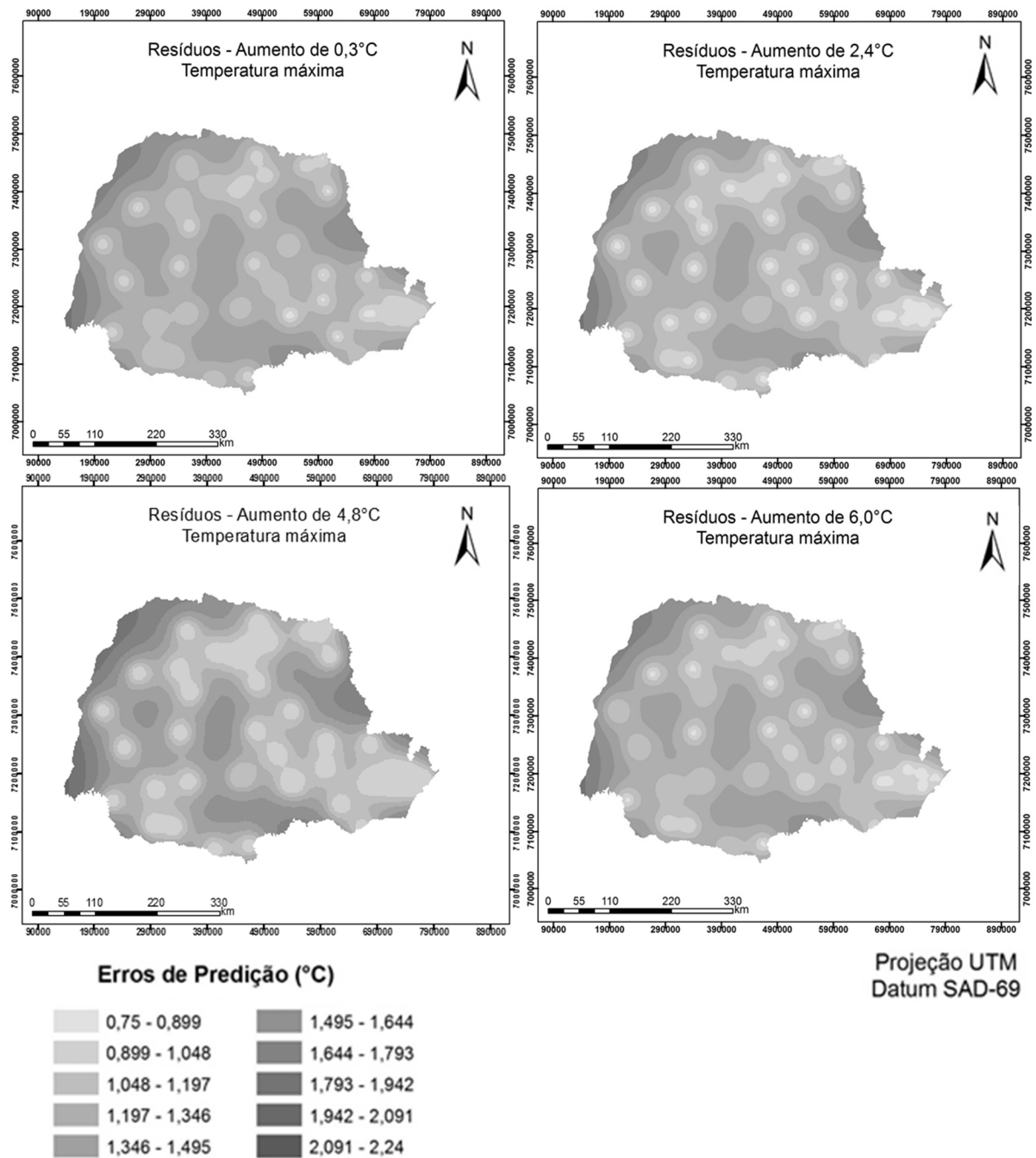


FIGURA 26 - PROJEÇÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DO AUMENTO DA TEMPERATURA MÉDIA EM 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C E 6,0°C PARA O ESTADO DO PARANÁ EM 2100  
FONTE: A autora

Os gráficos dos resíduos gerados na espacialização dos dados simulados demonstraram que, de um modo geral, há uma predominância de faixas mais claras, representadas pelos menores erros. Há uma concentração de maiores erros na região oeste do Estado, o que já era esperado tendo em vista que a temperatura apresenta anisotropia, ou seja, varia no sentido Leste-Oeste. Portanto, para obtenção de menores erros, interpoladores e modelos específicos para essa região

deveriam ter sido testados, mas essa realidade fugiria do proposto para esse trabalho, por essa razão, optou-se por assumir a maior variação de erro.

Com o objetivo de estimar a temperatura da região amazônica via interpoladores geoestatísticos, o trabalho de Barreto (2011) também encontrou variações de erro entre 0,5°C e 2,1°C, indicando que a metodologia geoestatística é adequada para previsão desse fenômeno. Uma avaliação importante é considerar a amplitude dos erros em função da amplitude da variação dos dados observados na série histórica, e seguindo essa proposição, o presente trabalho apresenta maior frequência de erros nas classes entre 0,75°C a 1,6°C, indicando uma baixa variação em relação a amplitude observada dos dados (entre 6,5°C e 7,5°C).

Ainda conforme Betts et al. (2011), o reconhecimento da existência de incertezas nas previsões das mudanças climáticas não reduz nem elimina sua utilidade, mas sim, fornece informações valiosas quando estas são comunicadas de maneira eficiente aos usuários. Os tomadores de decisões devem lidar com informações incertas, pela própria natureza da informação prestada, e assim reconhecer as faixas das possíveis condições climáticas do futuro para expressar os riscos ao qual estamos propensos.

Para o IPCC (2013), que há muitos anos vem aprimorando métodos e baseando decisões internacionais sobre o clima, o último relatório traz o alerta que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, em que muitas das mudanças observadas são inéditas: a atmosfera e o oceano têm aquecido. Adiciona ainda que a influência humana é clara, melhor demonstrada nas atuais previsões, aliada também com o progresso do desenvolvimento dos modelos do clima, reproduzindo observações, padrões e tendências ao longo de várias décadas. Assim, conforme afirma Chang (2002), sendo antrópica a origem deste aquecimento do planeta, a própria ação do homem deve intervir para contê-lo.



## 2.4 CONCLUSÕES

O mapeamento das temperaturas mínima, média e máxima revelou um aquecimento sucessivo no Paraná desde 1970 a 2010.

A projeção dos quatro cenários climáticos (otimista – 0,3°C; intermediário – 2,4°C; pessimista – 4,8°C; e extremo – 6,0°C) para 2100 no Paraná através da combinação do PGECLIMA\_R com a geoestatística mostrou-se coerente com a literatura e permitiu a validação e indicação dos métodos utilizados para a projeção do fenômeno em estudo.

### **3. AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS CLIMÁTICOS**

#### **3.1 REVISÃO DE LITERATURA**

##### **3.1.1 BIODIVERSIDADE E EXPLORAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA**

A Mata Atlântica e suas associações detinham 13% do território brasileiro (aproximadamente 1,3 milhão de km<sup>2</sup>) de acordo com o SFB (2013). O bioma, que ocorre em 17 estados do país (AL, BA, CE, ES, PI, GO, MS, MG, RJ, SP, PB, PE, PR, SC, SE, RN, RS) é uma das maiores florestas tropicais do planeta, tendo sido o primeiro a ser explorado durante a colonização do Brasil, a partir da qual os sucessivos ciclos econômicos e a contínua expansão da população humana nas regiões de ocorrência prejudicaram de forma definitiva a integridade ecológica dos ecossistemas singulares da Mata Atlântica, conhecidos pela sua imensa diversidade biológica e elevada taxa de endemismo (SILVA E CASTELETTI, 2005).

Galindo-Leal e Câmara (2005) afirmam que a perda dessa biodiversidade teve sua causa historicamente estimulada por um sistema desigual de posse de terra e relações comerciais em escalas locais, nacionais e internacionais. Essa perda inclui ecossistemas, variabilidade genética, populações e espécies, bem como processos evolutivos que sustentam a diversidade dos seres vivos. As consequências de tamanha exploração histórica colocaram a Mata Atlântica como um dos 25 *hotspots* de biodiversidade do mundo.

Ainda conforme os autores acima, os fragmentos remanescentes continuam a ser explorados, deteriorados e fragmentados em função da retirada de lenha, corte e captura ilegal de vegetais e animais, assim como à introdução de espécies exóticas. Construções de represas para geração de energia hidrelétrica são também citadas como outro fator de perda de habitats e alterações na ecologia deste bioma. Aliado a isso, cerca de 100 milhões de pessoas residem em seus domínios, em que parte destas fazem uso dos serviços e benefícios diversos propiciados pela floresta. Em decorrência dessa exploração predatória, conforme o SFB (2013) expõe, a Mata Atlântica apresenta um elevado número de espécies em extinção. A Figura 27 ilustra as áreas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica.

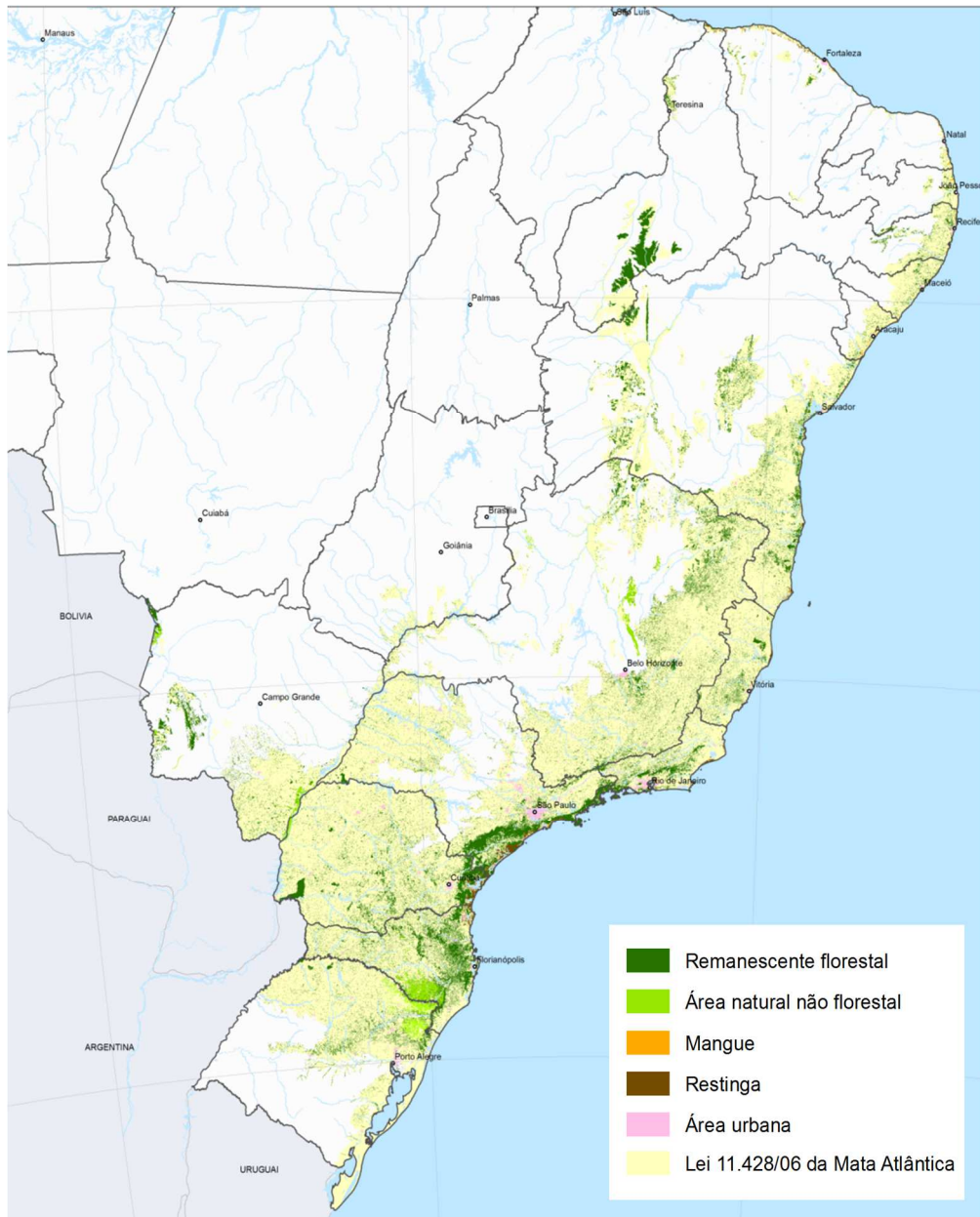


FIGURA 27 – ATLAS DOS REMANESCENTES ATUAIS DA MATA ATLÂNTICA BRASILEIRA  
 FONTE: INPE e SOS MATA ATLÂNTICA (2013)

Na atualidade, o levantamento referente aos anos de 2012 a 2013 descrito no Atlas dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados do Bioma Mata Atlântica (2013) aponta a continuidade do desmatamento nos 17 Estados brasileiros que compõe a extensão do Bioma. Essa realidade implica que restam apenas 8,5% de remanescentes florestais acima de 100 ha, e que, somando-se todos os fragmentos de florestas nativas acima de 3 ha, esse total alcança 12,5% dos 1,3 milhões de km<sup>2</sup> originais (INPE e SOS MATA ATLÂNTICA, 2013).

Apesar da degradação extrema, algumas condições específicas são responsáveis pela enorme diversidade e endemismo que persiste. As inúmeras

espécies relacionadas e que atualmente estão geograficamente dispersas nas regiões, indicam que a Mata Atlântica passou por vários períodos de diferenciação biológica. A cobertura inicial florestal da Mata Atlântica estendia-se do Nordeste do Brasil até o Rio Grande do Sul, e acredita-se que em uma época não muito distante da história, essa Mata esteve conectada à Floresta Amazônica tendo em vista os exemplares de animais tipicamente amazônicos encontrados nos remanescentes atuais, sugerindo uma ligação anterior entre as duas tipologias florestais (CÂMARA, 2005).

Esse contato com outras biotas é parte da história evolutiva da Mata Atlântica, conforme Rizzini (1997). Ribeiro et al. (2009) complementam a importância deste bioma ao relacionar sua extensão de ocorrência em ambientes heterogêneos, que vão desde regiões tropicais a subtropicais, cuja faixa longitudinal ampla trouxe por conseguinte a diversificação da composição florestal.

Câmara (2005) indica que em períodos anteriores, falhas de alta profundidade trouxeram uma diferenciação para o relevo, cuja topografia influenciou o bioma. Climas distintos, com períodos frios e secos intercalados a climas quentes e úmidos fragmentaram o bioma em manchas que posteriormente foram separadas por áreas de Cerrado ou Caatinga, e quando em condições propícias, vieram a expandir-se novamente.

Como parte dessa diversidade, a divisão de tipologias florestais do bioma Mata Atlântica inclui Florestas Ombrófilas (Densa, Aberta e Mista), Estacionais (Decidua e Semidecidual), e os chamados ecossistemas associados, como as restingas, manguezais e campos de altitude. A riqueza associada a essas formações biológicas é maior que a de alguns continentes (América do Norte e Europa, por exemplo), o que a coloca numa posição prioritária de manejo e conservação (MMA, 2014).

Em respeito à importância ecológica e social descrita anteriormente, estratégias de conservação foram ao longo dos anos implantadas, desenvolvidas e melhoradas, através dos setores públicos e privados, tendo em vista a urgência percebida em frear a completa devastação do bioma. Diante disso, como parte de medidas tomadas, o Brasil busca atualmente o incentivo a conservação e uso sustentável da biodiversidade, assim como a promoção de recuperação de áreas degradadas e a instauração do pagamento por serviços ambientais prestados a

Mata Atlântica. A aprovação da Lei 11.428 de 2006, regulamentada pelo Decreto 6.660/2008 surgiu como uma importante ferramenta de conservação (MMA, 2014).

A comunidade científica por sua vez, também vem contribuindo de maneira significativa na geração de informações e conhecimento que acabam por subsidiar as decisões governamentais e incentivar uma tomada de consciência ambientalista para mitigação da exploração florestal, relacionando a importância das florestas na prestação de numerosos bens a sociedade. Fundamentos e conceitos que descrevem e estudam o bioma podem ser encontrados em Behling (2001); Oliveira (2007); Colombo e Joly (2010); Ribeiro et al. (2011); Bertoldo et al. (2014), entre outros.

### 3.1.2 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA: ESTRUTURA, MANEJO E CONSERVAÇÃO

Tipologia pertencente à Mata Atlântica, a distribuição da Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta com Araucária ou Mata com Araucária (MAACK, 1981) é limitada pelas suas características peculiares de crescimento associadas ao histórico de sua formação, que implicam em uma restrição de amplitude de ocorrência tendo em vista os recursos necessários ao favorecimento do seu desenvolvimento. Sua delimitação está relacionada à presença da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, entre outros fatores (CASTELA e BRITEZ, 2004).

Assim, a Floresta Ombrófila Mista se estende quase que estritamente nos Estados do Sul do Brasil, com manchas pelo Sul de São Paulo, chegando ao Sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (CARVALHO, 2004), bem como na Argentina, ilustrado na Figura 28. Para o Estado do Paraná, a cobertura original desse tipo florestal perfaz uma área de 100.000 km<sup>2</sup>, conforme Reitz e Klein (1966) citado por Castela e Britez (2004). Já Maack (1981) estabelece uma área de 73.780 km<sup>2</sup>.

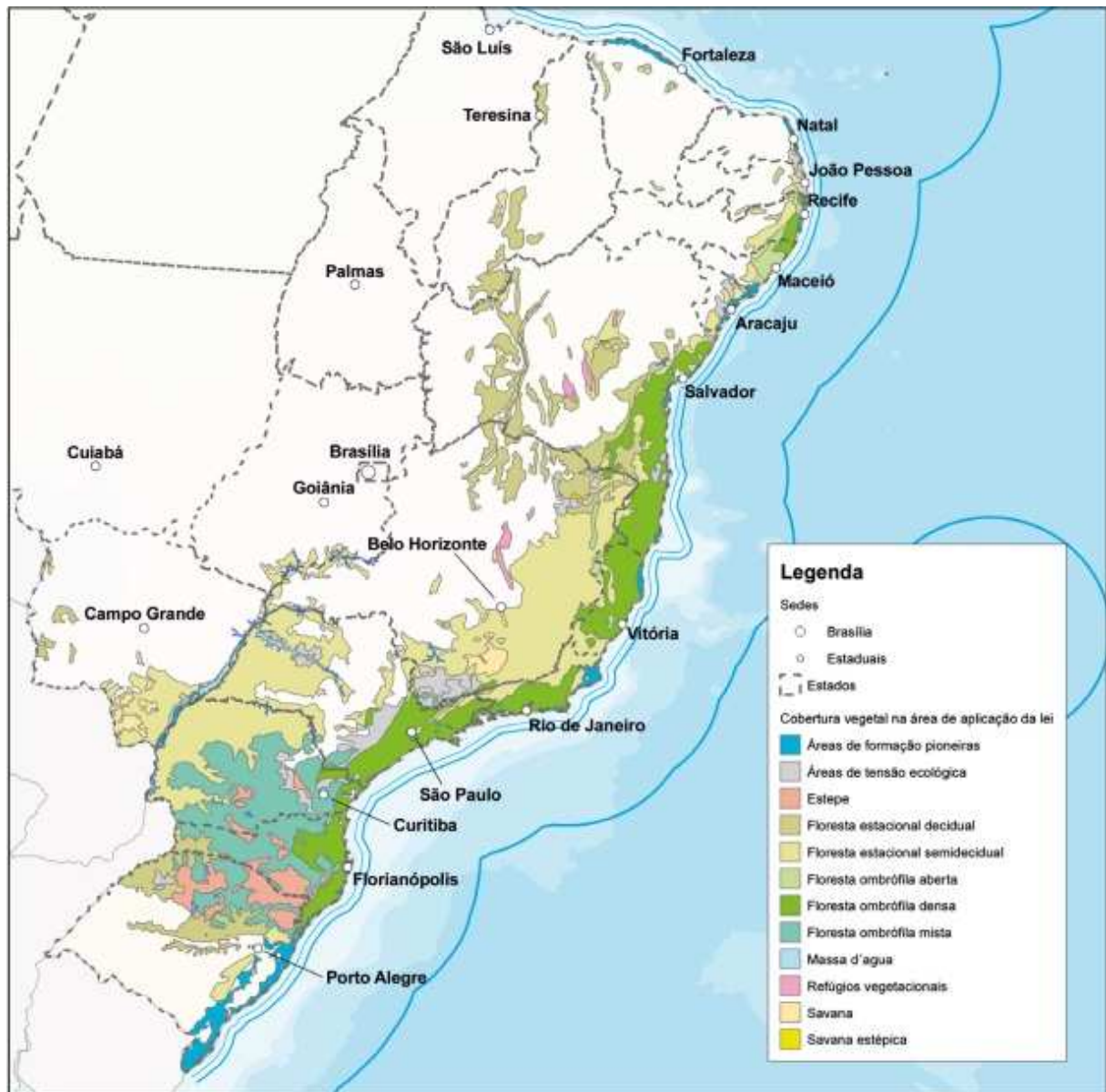


FIGURA 28 - TIPOLOGIAS FLORESTAIS PRESENTES NO BRASIL. DESTAQUE PARA A DISTRIBUIÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NOS ESTADOS DO PARANÁ, SANTA CATARINA, RIO GRANDE DO SUL (EM MAIOR PROPORÇÃO) E SÃO PAULO, MINAS GERAIS E RIO DE JANEIRO (MENOR OCORRÊNCIA)

FONTE: IBGE, 2008

Conforme Leite (1994) descreveu, a nomenclatura dessa tipologia florestal contempla a existência de espécies da flora de origens distintas, parte tropical (afro-brasileira) e parte temperada (austro-brasileira). Narvaes et al. (2005) mencionam a importância ecológico-econômica dessa floresta tendo em vista que nela reside a espécie de conífera mais expressiva da vegetação brasileira, *Araucaria angustifolia*, cuja abundância e porte imprimem o aspecto de fitofisionomia desta formação, assim como, enfatiza a variedade de recursos naturais decorrente das associações entre as espécies.

A FOM compreende as formações florestais típicas dos planaltos sulistas do Brasil, com disjunções no Sudeste e país vizinho, já descrito anteriormente. Tem ocorrência principal em altitudes entre 800 a 1200 m ao nível do mar, podendo de forma eventual ocorrer acima dos limites descritos (RODERJAN et al., 2002). Carvalho (1994) relata que a abrangência dessa floresta relaciona-se a uma região de clima pluvial subtropical, compreendida entre as latitudes que variam de 19°15'S a 31°30'S e longitudes de 41°30'W e 54°30'W. Sonogo et al. (2007) acrescenta que a FOM ocorre alternadamente com áreas savânicas e estépicas, constituindo um mosaico que caracteriza grande parte da paisagem da Região Sul.

Em função da altitude, essa floresta pode ser classificada em: Submontana, Montana e Altomontana. Quando ocorrente ao longo de planícies aluviais é denominada de Aluvial. A Figura 29 demonstra as camadas de dossel, onde há predominância do gênero *Araucaria* na parte mais alta, seguido dos gêneros *Ocotea*, *Cedrela*, *Sloanea*, *Podocarpus*, *Ilex*, entre outros (RODERJAN et al., 2002).

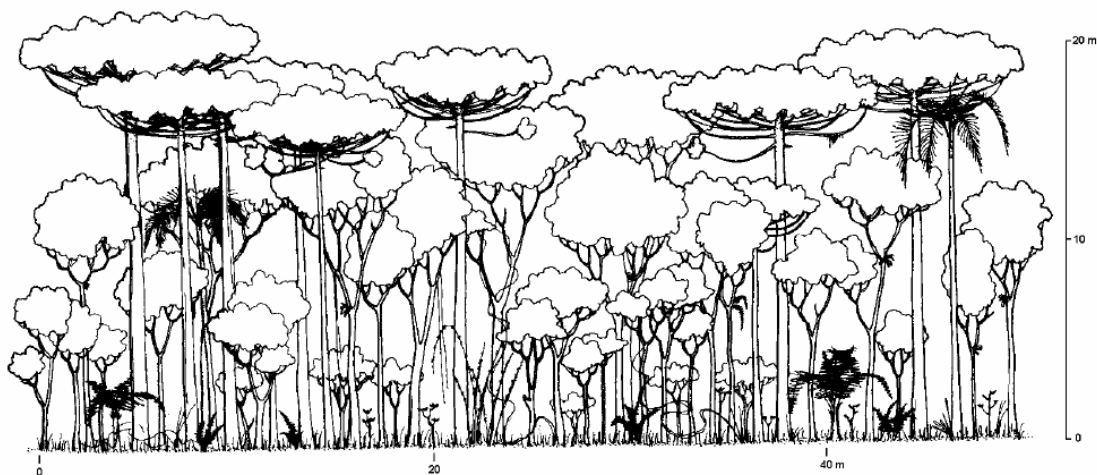


FIGURA 29 - PERFIL ESQUEMÁTICO DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ

FONTE: Roderjan et al. (2002)

O IBGE (2012) descreve a FOM como um tipo de vegetação originada no Planalto Meridional - onde ocorria com mais frequência -, no entanto, o vulcanismo iniciado no Período Jurássico e finalizado no Cretáceo é considerado o responsável pelo despovoamento vegetal desta área, a partir do qual surge a hipótese que a *A. angustifolia* tenha se disseminado diante deste contexto, por meio do 'Escudo Atlântico' que se encontrava unido à plataforma afro-brasileira no Paleozoico.

Sanquetta e Mattei (2006) adicionam informações corroborativas ao parágrafo anterior, onde afirmam quanto ao histórico da FOM, que no período Cretáceo as

angiospermas passaram a ocupar o primeiro plano, evoluindo e dispersando-se pela América do Sul e Oceania. Neste primeiro continente, na expansão das coníferas, tiveram condições para ocorrer apenas duas espécies: *A. angustifolia* no Brasil e Argentina, e *Araucaria araucana*, no Chile e Argentina.

A exuberância desse tipo florestal, no entanto, tornou-a alvo da exploração madeireira a partir do século XIX, em que esta atividade tinha grande destaque na região Sul. O processo de geração de riqueza e desenvolvimento da colonização no Paraná, localidade objeto deste estudo, levou a drástica redução da FOM. Os ciclos madeireiros históricos, com grandes exportações, e posteriormente o de café e soja, foram os propulsores do desmatamento dessas florestas (CASTELA e BRITEZ, 2004).

Nascimento et al. (2001) informam que não só o pinheiro-brasileiro (*A. angustifolia*) tem grande valor madeireiro, mas também a imbuia (*Ocotea porosa*), o cedro (*Cedrela fissilis*) e ainda o açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) tiveram suas reservas naturais reduzidas. Ainda tratando-se da cobertura da FOM no Paraná, Maack (1981) afirma que dos aproximadamente 37% de floresta natural, foram desmatadas na época em questão cerca de 15%. Ribeiro et al. (2009) afirmam que os valores limitam-se a 12% do total original.

Castela e Britez (2004) alegam que os remanescentes que existem na FOM do Paraná, além de imensamente fragmentados, sofrem perturbações de diferentes fatores, intensidades e amplitudes, gerando um mosaico de situações, o que acaba por dificultar as ações de manejo e conservação. Os remanescentes em estágio avançado de sucessão totalizam, de acordo com Sanquetta (2005), menos de 1% da área que existia originalmente no Paraná.

Diversos trabalhos foram realizados em áreas de FOM no Paraná com vistas a um entendimento do status atual dessa tipologia, desenvolvendo a compreensão de sua dinâmica de crescimento, da diversidade florestal, dos estoques de biomassa e carbono, do funcionamento da floresta, e do manejo sustentável a ser praticado (NASCIMENTO et al., 2001; CORDEIRO e RODRIGUES, 2007; JESKE-PIERUSCHKA et al., 2010; MOGNON, 2011; BERTOLDO et al., 2014; SANQUETTA et al., 2014).

Como apoio à ampliação desses estudos, o programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) no sítio 9, denominado de Floresta com Araucária e suas Transições, tem desenvolvido também inúmeras pesquisas



avaliando os processos ecológicos e ferramentas tecnológicas para aprimorar o monitoramento, e por conseguinte aprofundar as análises e conhecimento sobre essa floresta. Os processos demográficos da vegetação vêm sendo avaliados anualmente por meio da implantação de parcelas permanentes desde 1995 (SANQUETTA et al., 2014). O presente estudo está inserido nesse Programa, e busca auxiliar na resposta acerca da capacidade de expansão ou retração geográfica de espécies da FOM.

### 3.1.3 RELAÇÃO CLIMA-FLORESTA E SUA FUNÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE ESPÉCIES

É amplamente difundido na literatura o papel fundamental que o clima exerce sobre a vida na Terra, desde a gênese da sua formação até a atualidade, compondo o ambiente no qual vivemos. No âmbito da discussão acerca do aquecimento global, a comunidade científica tem realizado estudos, melhor descritos posteriormente, que projetam diferentes cenários climáticos como forma de avaliar as consequências destes em relação à organização da sociedade em suas muitas esferas: ecossistemas, florestas, recursos hídricos, biodiversidade, agricultura, saúde, planejamento territorial e segurança social.

Explorando a relação direta entre o clima e a floresta, percebe-se uma vinculação indissociável, em que a existência de diferentes condições climáticas em associação com outros fatores define a forma como a vegetação se distribui no planeta (Figura 30). A exemplo dessa correlação, Marengo et al. (2009) prevêem que temperaturas mais altas e uma alta permanência da estação seca podem aumentar a frequência de estiagens extremas na ocorrência do fenômeno do El Niño/Oscilação Sul e anomalias na temperatura da superfície do mar no Atlântico, o que pode contribuir para um acréscimo e intensidade na ocorrência de incêndios, capazes de ameaçar a distribuição e integridade de ecossistemas florestais.

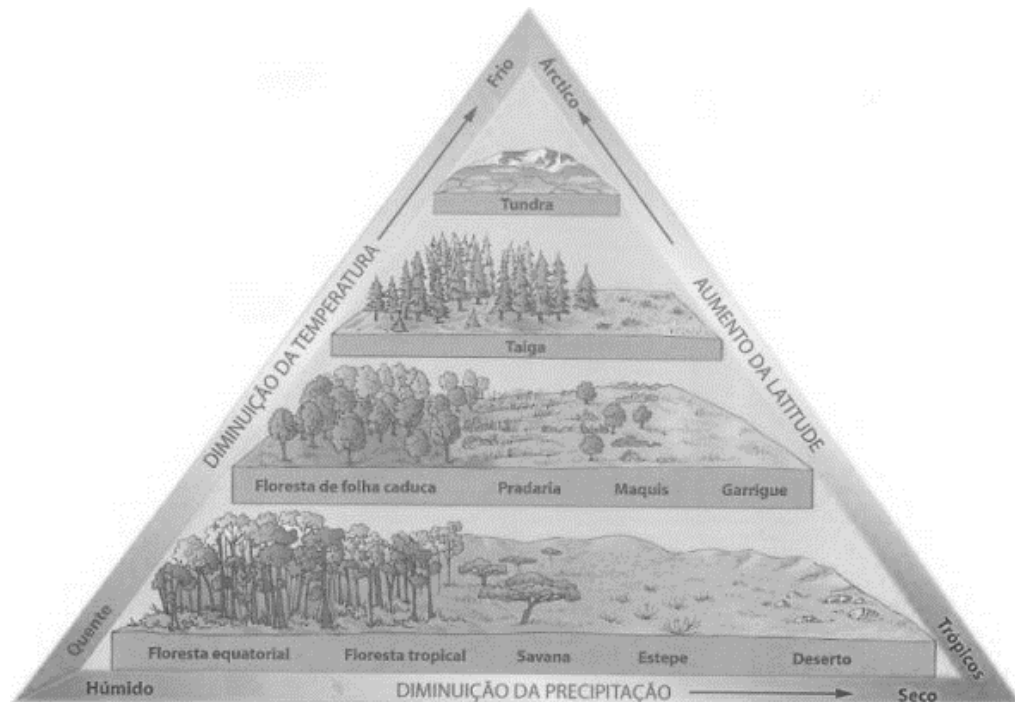


FIGURA 30 - VARIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E LATITUDE  
 FONTE: Aquino et al. (2009)

Atribuindo-se assim a importância do clima na estrutura da formação da vegetação brasileira, Vonhof e Kaandorp (2010) descrevem que as máximas glaciais ocorridas há milhares de anos atrás teriam reduzido as temperaturas e pluviosidade média de alguns biomas brasileiros, o que por consequência reduziu e fragmentou os biomas florestais propiciando a expansão de formações abertas. Os períodos inter-glaciais, de modo inverso, teriam provido condições mais favoráveis para a expansão dos biomas florestais e retração de formações abertas.

Essas premissas são intensamente debatidas em trabalhos de biogeografia, os quais estudam a distribuição geográfica dos seres vivos ao longo do tempo, objetivando entender os padrões de organização espacial dos organismos (GILLUNG, 2011). A Figura 31 ilustra o padrão de distribuição da vegetação da América do Sul antes e depois da mudança climática que tornou a região mais quente e úmida, e portanto, mais propícia a expansão das florestas.

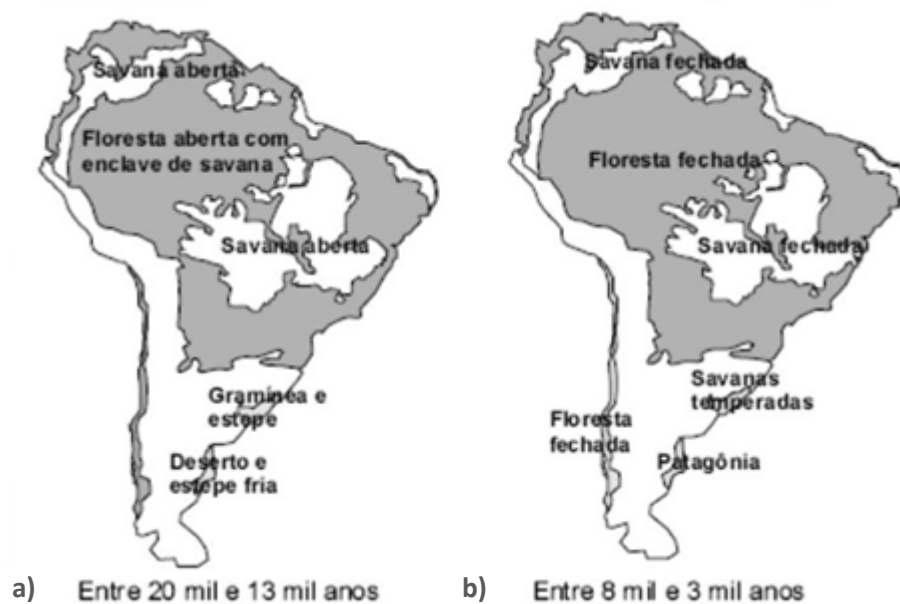


FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO PRESENTE NA AMÉRICA DO SUL EM DOIS PERÍODOS DE TEMPO: A) SECO E FRIO E B) ÚMIDO E QUENTE  
 FONTE: Pivetta (2004)

Na Floresta Ombrófila Mista, evidências paleoecológicas indicam que a expansão dessa tipologia florestal a partir de refúgios em vales profundos e corredores ripários tem sido um processo recente, com início no Holoceno (há aproximadamente 4000 anos atrás), e que teve uma aceleração há 1000 anos, possivelmente em função de um clima mais úmido (BEHLING et al., 2002). Para Pillar (2003), a expansão da Floresta com Araucária foi provavelmente um processo lento, sendo necessário ampliar o número de trabalhos que expliquem melhor essa difusão. Klabunde (2012) contribui analisando através da filogeografia populações de *A. angustifolia* em sua área de ocorrência natural.

Em acréscimo a essa questão, Aleixo et al. (2010) discutem que como efeito desses períodos glaciais, populações florestais teriam seu arranjo fragmentado, isolando-se nos chamados 'refúgios' florestais, diferenciando-se umas das outras. Em oposto, espécies de ambientes abertos teriam se expandido acompanhando também a expansão destes ambientes. Nos períodos inter-glaciais, o efeito é contrário: espécies florestais recém-diferenciadas distribuíram-se e relacionaram-se, ao passo que espécies de ambientes abertos foram fragmentadas, e teriam se diferenciado a partir do isolamento.

A Teoria dos Refúgios Florestais argumenta que em função de flutuações climáticas de fases mais secas e frias, as florestas tropicais retraíram-se às limitadas

áreas de umidade que ainda permaneciam, o que constituiu um refúgio, sofrendo diferenciação biológica como resultado desse isolamento (VIADANA e CAVALCANTI, 2007). Maiores descrições e detalhes acerca da referida teoria estão presentes nos trabalhos de Bigarella (1964); Tricart (1974) e Brown (1982). A relação entre clima-floresta tratada nessa teoria é aceita para diversos pesquisadores como um indício plausível no auxílio à compreensão sobre como populações florestais se distribuíram frente às oscilações climáticas ocorridas ao longo dos anos de vida na Terra.

Conforme Alfaro et al. (2014), a atual distribuição dos recursos genéticos florestais no planeta é produto de uma combinação de fatores da natureza submetidos às ações humanas. Isso porque, ao longo da história, árvores foram adaptando-se aos seus habitats enfrentando potenciais distúrbios ecológicos locais, no entanto, a atual fase de alteração climática induzida pelo ser humano, cujas velocidades e magnitudes não têm precedentes, tornarão as populações menos aptas às novas condições e distúrbios bióticos e abióticos alterarão sua distribuição histórica.

Garcia et al. (2013) enfatizam o importante papel que as potenciais alterações do clima têm sobre a distribuição geográfica dos ecossistemas florestais, sendo essas alterações responsabilizadas como uma das principais ameaças à biodiversidade no mundo. Para o referido autor, estima-se que de 20 a 30% de espécies animais e vegetais globais estarão em alto nível de extinção em função do aquecimento previsto, e ainda, que uma significativa proporção de espécies endêmicas venha a se extinguir entre 2050 a 2100 como consequência de aumentos na temperatura.

A distribuição geográfica e adequação das espécies às condições climáticas tem sido um importante aspecto considerado pelos cientistas no âmbito das mudanças do clima. De acordo com Navas e Cruz Neto (2008), a biota sofre distintas pressões ambientais além das mudanças climáticas atuais, tornando o cenário de existência complexo, com efeitos sinérgicos que dificultam em muito os ajustes fisiológicos das espécies às novas situações. Giannini et al. (2012) complementa que as referidas pressões ambientais oriundas de ações antrópicas são alguns dos fatores com influência negativa direta na distribuição de espécies, realidade esta que tem demandado novas tecnologias, técnicas e ferramentas de

análise, cujo objetivo é aprofundar o conhecimento acerca do comportamento destas para fins de manejo e conservação.

Como contribuição a referida investigação, desponta a modelagem preditiva de distribuição de espécies, cujo conceito relaciona a combinação de dados de ocorrência de uma ou mais espécies com variáveis ambientais, de modo a se construir uma representação das condições favoráveis à ocorrência dessas espécies (ANDERSON et al., 2003). Seguindo essa linha, Colombo (2007) avaliou consequências potenciais das mudanças climáticas globais em espécies arbóreas da Mata Atlântica, bem como Carnaval et al. (2009), que delimitaram a estabilidade da predição genética da diversidade na Floresta Atlântica Brasileira enquanto *hotspot*.

É descrita na literatura como uma ferramenta de análise da distribuição de espécies a modelagem de nicho ecológico, no entanto, Jiménez-Valverde et al. (2008) afirma que este termo deve ser evitado pela sua complexidade e significância, em que considerar efeitos dos fatores bióticos e abióticos atuantes sobre os organismos é extremamente difícil, tendo em vista que os dados de interação ainda são escassos ou de árdua interpretação. A distribuição geográfica de uma dada espécie é também considerada complexa, sendo a expressão de sua ecologia e evolução, influenciada por diversos fatores que atuam em escalas e intensidades diferenciadas (BROWN e LOMOLINO, 2006).

Conforme Araújo e Guisan (2006) destacam, existem várias dificuldades associadas à modelagem de distribuição de espécies considerando muitas variáveis, como o nicho ecológico. Em função de sua alta complexidade, outros desafios despontam, sendo estes: melhorias na amostragem de dados para construção dos modelos, melhorias na parametrização dos modelos, melhorias na seleção do melhor modelo de predição e ainda na avaliação deste. Os autores acreditam que o desenvolvimento de outros métodos que contribuam para a análise da distribuição de espécies é essencial na geração de informações e conhecimentos.

Embora haja diferenças significativas na literatura quanto às metodologias a serem usadas na predição do comportamento das espécies e suas tendências de expansão e retração nos ambientes naturais, os pesquisadores corroboram com um objetivo comum: reproduzir artificialmente quais condições seriam favoráveis à ocorrência das espécies alvo de interesse, tarefa essa que torna-se mais complexa a medida que inúmeras variáveis vão sendo consideradas, mas que claro, constitui

uma representação mais próxima da realidade. Assim, o desafio da aplicação dessa técnica está em encontrar o ótimo da modelagem, em que o máximo de variáveis possam ser analisadas com a melhor acurácia possível e a menor complexidade.

Estudos de grandiosa contribuição ao conhecimento a respeito da distribuição de espécies são realizados com diferentes metodologias, como o de Araújo et al. (2005), que avaliaram a redução da incerteza nas projeções de riscos de extinção de espécies em função das mudanças climáticas na Grã-Bretanha; Beaumont et al. (2007) avaliaram a incorporação de novas técnicas na modelagem climática para projeção da distribuição de espécies na Finlândia; Wrege et al. (2009) avaliaram o potencial de conservação da espécie em função de potenciais mudanças do clima. Ainda dentro da relação clima-floresta, alguns estudos buscaram reconstruir cenários passados da vegetação em função das condições climáticas também por meio de diferentes técnicas, como Bitencourt et al. (2003); Düming et al. (2008) e Gessert et al. (2011), que trabalharam com a Floresta Ombrófila Mista.

Diante dos contextos aqui apresentados, cabe como uma estratégia de urgência, o estudo acerca do comportamento dos diversos ecossistemas florestais em função desses potenciais cenários do clima, de modo a direcionar ações de manejo e conservação desses recursos que garantam a resiliência e estabilidade das florestas, assegurando assim o fluxo futuro dos serviços no tempo e espaço como suporte as sociedades globais. Dentro dessa proposta, enquadra-se o presente trabalho, que visa contribuir na predição do comportamento de espécies florestais da FOM frente às mudanças climáticas.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO PARANÁ

Neste capítulo, a delimitação da área de estudo corresponde à ocorrência original da ecorregião da Floresta com Araucária no Estado do Paraná.

Quanto à caracterização que compõe esse tipo florestal, o IBGE (2012) menciona os principais componentes da flora nas distintas formações de FOM – aluvial, submontana, montana, altomontana, aqui descritos: *Araucaria angustifolia* Kuntze; *Luehea divaricata* Mart. ex Zucc; *Blepharocalyx salicifolius* (Kunt) O. Berg;

*Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm. ex Dows.; *Ocotea pulchella* (Ness e Mart.) Mez; *Ilex paraguariensis* A. St.; *Cryptocarya aschersoniana* Mez; *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.; *Ocotea porosa* (Ness e Mart.) Barroso; *Ocotea catharinensis* Mez; *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl.; *Cedrela fissilis* Vell., entre outras. Diversos estudos de fitossociologia e composição florística que abordam a diversidade florestal da FOM são largamente divulgados na literatura, como os de Rondon Neto et al. (2002); Liebsch e Acra (2004); e Scheer e Blum (2011).

A descrição climática das áreas de ocorrência de FOM, enfatizada aqui pela sua importante correlação com a biodiversidade descrita anteriormente, indica valores predominantes de precipitação média entre 1.500 a 1.700 mm, com umidade relativa do ar média de 75%. As temperaturas médias anuais estão por volta de 18°C a 19°C, as máximas médias são em torno de 22°C e as mínimas médias correspondem de 13°C a 14°C. A referida área corresponde as latitudes 23°S a 28°30'S e longitudes 49°W a 54°W, fator este que também contribui na distribuição geográfica das espécies (CASTELA e BRITEZ, 2004).

Embora a classificação climática de Köppen para o Estado do Paraná abranja predominantemente os tipos Cfa e Cfb, conforme descrito no capítulo 2 deste trabalho, nas áreas de Floresta Ombrófila Mista ocorre principalmente o segundo tipo climático (Cfb), com uma pequena porção correspondente a área de transição para o tipo climático Cfa. Essa premissa pode ser observada na interseção entre os tipos climáticos do Paraná e o mapa da cobertura original da FOM, ilustrada na Figura 32.

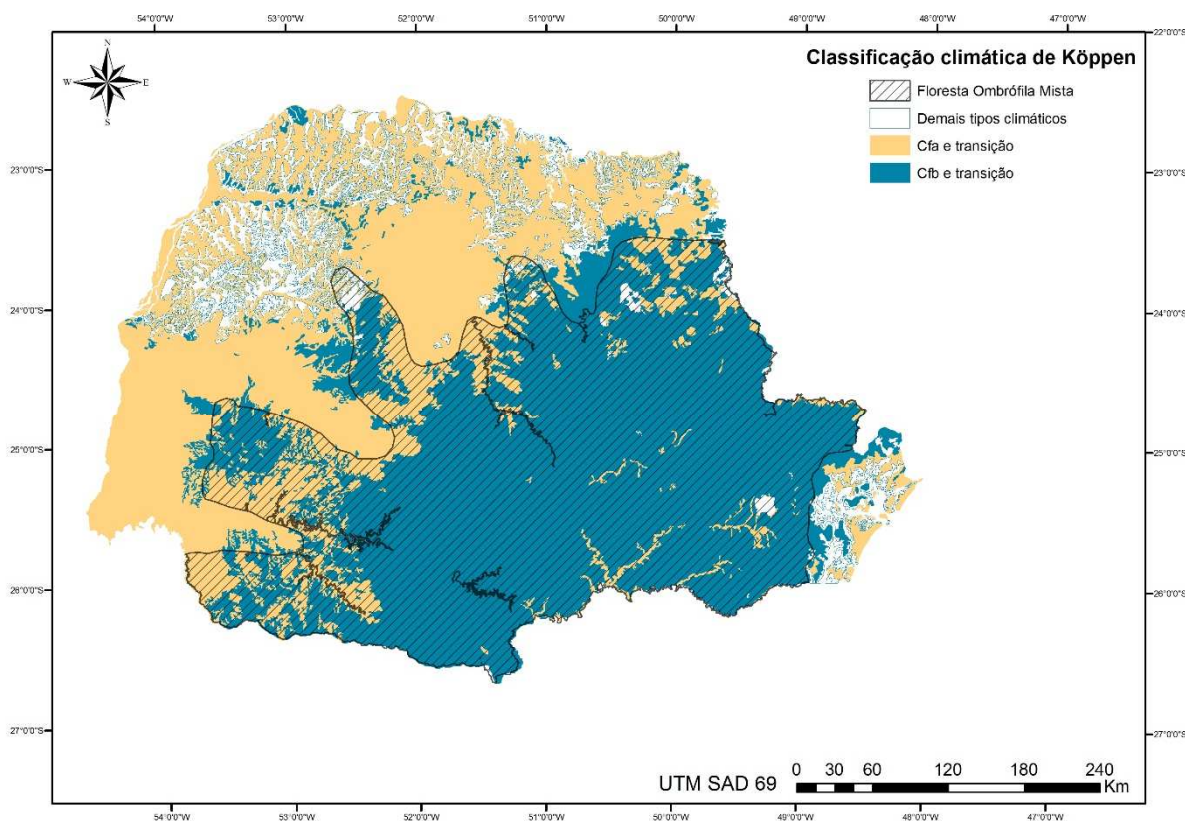


FIGURA 32 – DISTRIBUIÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA SOBRE A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN

FONTE: Adaptado de ITCG (2008) e Roderjan et al. (2002)

A ressalva dada para a classificação climática proposta com base em Köppen, a mais usada em estudos de ecologia, geografia e climatologia, refere-se às variáveis utilizadas pelo designado autor, que parte do pressuposto que a vegetação natural da Terra é fundamentalmente produto do clima que nela prevalece, conforme corroborado neste trabalho nas seções anteriores. Deste modo, na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger são considerados valores de temperatura do ar e da precipitação, e as regiões climáticas foram divididas conforme as áreas de predominância dos diferentes tipos de vegetação, motivo pelo qual a distribuição dos tipos climáticos tem estreita relação com a distribuição dos biomas (RUBEL e KOTTEK, 2011).

O presente estudo baseou-se na premissa apresentada para justificar o uso da temperatura, precipitação e altitude como variáveis essenciais na análise da distribuição de espécies da Floresta Ombrófila Mista, focando-se em componentes primordiais à explicação da composição florestal, com menor complexidade e alta acessibilidade, embora compreende-se que outras variáveis e aspectos tem importante influência em como as espécies se distribuem ao longo do tempo e



espaço. Outros autores, tal qual Maack (1969), também afirmam que a vegetação é, em primeira linha, a expressão do clima em relação a altitude e latitude. Assim, acredita-se que as variáveis escolhidas permitiram coerente interpretação acerca do comportamento desse tipo florestal em função de elementos climáticos.

### 3.2.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

As informações de ocorrência natural das espécies avaliadas foram obtidas junto ao mapeamento de Inoue et al. (1984), literatura histórica e consagrada, o qual disponibiliza em mapas a distribuição de indivíduos da Floresta Ombrófila Mista. As imagens obtidas foram escaneadas, digitalizadas e georreferenciadas com base em arquivos vetoriais das divisas e limites do Estado do Paraná, disponíveis no IBGE. Esse procedimento está em concordância com a quase totalidade dos estudos de modelagem de distribuição geográfica, os quais compõem sua base de dados de ocorrência original pela literatura.

Para a análise das tendências de retração geográfica destas espécies em função dos diferentes cenários climáticos, foi delimitado um universo amostral de 10 espécies ocorrentes na Floresta Ombrófila Mista (Tabela 6) através da correspondência das mesmas a pelo menos um dos seguintes critérios: indicadoras desse tipo florestal; importantes do ponto de vista estrutural da floresta (densidade), conforme literatura de Scheer e Blum (2011) e ainda as pertencentes à lista de espécies em extinção conforme o MMA (2008).

TABELA 6 - ESPÉCIES DA FOM ESCOLHIDAS PARA AVALIAÇÃO QUANTO À DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES CENÁRIOS DO CLIMA

Espécies escolhidas		Critérios		
Nome popular	Nome científico	Estrutural (densidade)	Indicadoras	Extinção
araucária	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) O. Ktze.	X	X	X
vassourão-branco	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusen	X		
ipê-amarelo	<i>Handroanthus albus</i> (Chamiso)	X		
branquilha	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Bail) Smith & Downs	X		
erva-mate	<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hilaire	X	X	
bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	X	X	
pinheiro-bravo	<i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl.		X	
imbuia	<i>Ocotea porosa</i> (Nees) L. Barr		X	X
canela-sassafrás	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell) Rohwer			X
canela-preta	<i>Ocotea catharinensis</i> Mez.			X

FONTE: A autora

Possíveis limitações na base de dados estão associadas aos recursos empregados no mapeamento utilizado, tendo em vista o fator histórico. Assim, buscou-se uma análise comparativa com outras literaturas reconhecidas pela ciência florestal. Desse modo, corroboram com a distribuição de uma ou mais espécies utilizadas nesse trabalho: Longhi (1980); Goetzke (1990); Silva e Marconi (1990); Roderjan (1994); Takeda et al. (1998); Ziller (2000) e Carvalho (2003). Para a espécie *Araucaria angustifolia*, a distribuição geográfica obtida foi adaptada conforme o proposto por Roderjan et al. (2002).

Discordância quanto a ocorrência natural foi levantada para as espécies *Ilex paraguariensis* e *Ocotea porosa*. Porém, em razão da ausência de mapeamentos com igual objetivo e confiabilidade, passíveis de serem tratados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, os desvios de área de ocorrência identificados foram considerados processuais, e não prejudiciais a análise em questão. Em adicional, enfatiza-se que discordâncias são inerentes a natureza dessa análise, ao passo que a forma como os seres vivos se distribui é mutável e dependente de múltiplos fatores, cujo conhecimento pode estar muito aquém do desenvolvimento e aplicação de estudos.

A descrição dos aspectos ecológicos que compõe o comportamento dessas espécies está apresentada abaixo, conforme Carvalho (2003):

- **Araucária (*Araucaria angustifolia*):** Árvore perenifólia da família Araucariaceae, de aspecto original e contrastante. É uma espécie secundária longeva, mas de temperamento pioneiro, sendo considerada como emergente e marcadora da fisionomia da vegetação. É espécie característica e exclusiva da Floresta Ombrófila Mista, mas também encontrada nas áreas de tensão ecológica, com a Floresta Estacional Semidecidual e com a Floresta Ombrófila Densa. Ocorre nas faixas de altitude entre 500 m a 2.300 m. A distribuição geográfica original foi de cerca de 185.000 km<sup>2</sup> ocorrendo predominantemente no Paraná (40% do total), Santa Catarina (31%), Rio Grande do Sul (25%), e como manchas esparsas em São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e passando pelo Rio de Janeiro (1%).

- Bracatinga (*Mimosa scabrella*): Árvore perenifólia da família Fabaceae. Distribui-se nos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, com variação altitudinal de 350 m a 2.000 m. É uma espécie pioneira que destaca-se por colonizar terrenos nus e por sua baixa longevidade. Exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista, nas formações Montana e Altomontana.
- Branquilha (*Sebastiania commersoniana*): Arbusto ou árvore caducifólia, parte da família Euphorbiaceae. Ocorre nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. É uma espécie secundária inicial muito comum nas orlas dos subbosques dos pinhais. Característica de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, onde não raramente torna-se espécie dominante, e na formação Montana. Pode ser encontrada também na Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa. Distribui-se em altitudes que vão desde 5 m a 1200 m.
- Canela-preta (*Ocotea catharinensis*): Árvore perenifólia, também da família Lauraceae, é essencialmente do interior da floresta primária, espécie clímax. A variação altitudinal vai de 30 m a 1.400 m. Ocorre em Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. É encontrada na Floresta Ombrófila Densa, chegando a ser a terceira espécie em volume no Paraná, e na Floresta Ombrófila Mista Montana.
- Canela-sassafrás (*Ocotea odorifera*): Árvore perenifólia da família Lauraceae. Ocorre naturalmente na Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo. As faixas de altitude estão entre 15 m a 1.300 m. É uma espécie secundária tardia ou de clímax tolerante a sombra. Ocorre principalmente na Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa.
- Erva-mate (*Ilex paraguariensis*): Pertencente à família Aquifoliaceae, varia de arvoreta a árvore perenifólia. Encontra-se distribuída nos estados de Mato

Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Minas Gerais, e em pequenos fragmentos em São Paulo e Rio de Janeiro. É uma espécie cuja variação altitudinal vai de 160 m a 1800 m. É característica da Floresta Ombrófila Mista Montana e penetra na Floresta Estacional Semidecidual, com ocorrência rara em outros tipos florestais (Floresta Ombrófila Densa, Cerradão).

- Imbuia (*Ocotea porosa*): Árvore perenifólia, pertencente à família Lauraceae. Espécie secundária tardia ou clímax tolerante à sombra. Às vezes, a imbuia comporta-se como espécie secundária, infiltrando-se nas florestas mais abertas e nos capoeirões. Distribui-se entre altitudes de 400 m a 1.800 m, nos estados de Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Santa Catarina, São Paulo. É espécie característica da Floresta Ombrófila Mista Montana, onde ocupa o segundo lugar do dossel. De forma muito rara, ocupa a Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina.
- Ipê-amarelo (*Handroanthus albus*): Árvore caducifólia da família Bignoniaceae. Espécie secundária inicial, encontrada principalmente nos sub-bosques dos pinhais, sobretudo em locais onde a floresta não é densa. Varia entre altitudes de 80 m a 1.600 m. Ocorre nos seguintes estados: Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Ocorre comumente na Floresta Ombrófila Mista, mas também na Floresta Estacional Semidecidual e na Floresta Estacional Decidual.
- Pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*): Árvore perenifólia de altura variável, integra a família Podocarpaceae. É uma espécie secundária tardia ou clímax tolerante à sombra. Ocorre em altitudes que variam de 100 m a 2.200 m, distribuídas nos estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Habita a Floresta Ombrófila Mista, nas formações Aluvial, Montana e Alto-Montana. É também encontrada na Floresta Estacional Decidual.

- Vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*): Árvore perenifólia, é espécie secundária inicial pertencente à família Asteraceae, comum nas clareiras, nos capoeirões e na floresta secundária. Distribui-se em altitudes de 400 m a 1.200 m. Ocorre naturalmente nos estados do Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. É espécie característica e exclusiva da Floresta Ombrófila Mista Montana, onde ocorre também na mata ciliar. No centro-oeste do Paraná ocorre em associação com elementos da Floresta Estacional Semidecidual.

Os elementos climáticos que delimitam a faixa ótima de temperatura favoráveis ao desenvolvimento de cada uma das espécies citadas são descritos na literatura de Carvalho (2003) e aqui reportados na Tabela 7. Esses limites foram respeitados na demarcação da área de ocorrência futura para predição do comportamento das espécies.

TABELA 7 - FAIXAS DE TEMPERATURAS E PRECIPITAÇÃO CORRESPONDENTES À ECOLOGIA DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Espécies	T°C média anual	T°C média mais frio	T°C média mais quente
erva-mate	13,2 a 21,9	8,2 a 17,7	17,2 a 25,9
bracatinga	13,2 a 21,0	8,2 a 16,9	17,2 a 24,3
branquilha	14,3 a 21,9	8,7 a 18,6	18,6 a 24,9
canela-sassafrás	16,2 a 23,6	12,2 a 21,3	19,9 a 26,5
imbuia	13,2 a 21,8	9,4 a 18	17,2 a 24,9
canela-preta	16,5 a 21,9	12,2 a 18,4	19,9 a 26,5
pinheiro	13,2 a 21,4	8,2 a 17,3	17,2 a 24,6
pinheiro-bravo	13,2 a 21	8,2 a 17,2	17,2 a 25,1
vassourão-branco	15,5 a 21	10,7 a 16,3	19,9 a 24,7
ipê-amarelo	13,4 a 22,4	8,2 a 19,5	19,1 a 25,5

FONTE: A autora

### 3.2.3 PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Algoritmos computacionais têm sido aplicados com a finalidade de gerar modelos preditivos da distribuição geográfica de espécies, os quais requerem dados de presença e ausência de espécies (BROTONS et al., 2004). Essas ocorrências são assim relacionadas com elementos que descrevam as condições do ambiente relevantes à sua ocorrência, e os modelos permitem então representar uma estrutura de fatores favoráveis à existência das espécies.

Com base na premissa acima, para esse trabalho, utilizou-se o algoritmo de regressão de mínimos quadrados generalizados denominado de Cokrigagem (GOOVAERTS, 1997). Os elementos climáticos e variável topográfica, de fácil aplicabilidade e acessibilidade, são considerados os fatores que mais influenciam a distribuição de um grupo (SALM et al., 2007), o que justifica a utilização da precipitação e altitude, ponderadoras da temperatura, como elementos fundamentais na análise da distribuição de algumas espécies da FOM no Paraná.

A partir dessa ideia, em função dos possíveis cenários futuros elaborados no Capítulo 2 deste trabalho, realizou-se uma interseção entre o polígono da área de ocorrência das espécies e os panoramas do clima (aumentos de temperatura de 0,3°C; 2,4°C; 4,8°C e 6,0°C). Quantificou-se e delimitou-se as áreas de possível retração da vegetação estudada tendo em vista a avaliação das condições ecológicas de tolerância a temperatura. Ou seja, áreas cujas classes de temperatura não correspondem ao favorável para a ocorrência das espécies foram calculadas para a faixa em que seja possível garantir a presença destes indivíduos, sendo estabelecidos os limites de área de ocorrência e área de potencial retração de cada espécie avaliada. Todos os processos foram realizados com as ferramentas do ArcToolbox e organizado nas propriedades de layers no software ArcGis.

Observou-se ao longo do processamento dos dados que, embora possa haver desvios relacionados a área de ocorrência natural dos indivíduos avaliados, a tendência de retração geográfica em função dos panoramas climáticos não demonstraria notáveis alterações. Isso porque a delimitação das faixas de condições ótimas para o desenvolvimento permaneceria estável, enquanto que possíveis deslocamentos na distribuição das espécies acompanharia a tendência já notada.

Com tais características, esclarece-se acerca das limitações na distribuição real de algumas espécies, em que áreas que não satisfazem a aptidão a um espaço ecológico representam uma distribuição potencial, conforme conceitua Philips et al. (2006), cuja predição da ocorrência através das técnicas aqui empregadas, restrita aos fatores utilizados, constituem uma aproximação de uma possível realidade que é complexa e influenciada por diversos elementos, tendo em vista que a distribuição dos seres vivos e suas interações é muitas vezes desconhecida. Por essa razão, Lobo et al. (2008) sugere que os resultados oriundos dessas análises devam ser interpretados como uma 'hipótese distributiva', limitados aos fatores utilizados.

Gerou-se assim, como produto final da avaliação das espécies em função do clima, o mapa de predição do comportamento de cada espécie, possibilitando a previsão da habilidade das árvores em responder aos cenários previstos de mudança climática para o Estado do Paraná. Este resultado permitiu avaliar algumas espécies da Floresta Ombrófila Mista quanto a sua vulnerabilidade às possíveis mudanças climáticas.

A interpretação da potencial resposta das espécies às mudanças do clima teve base nos conceitos atribuídos por Martinelli e Moraes (2013), que definiram categorias e critérios de extinção em função de possíveis perdas de área original.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.3.1 PANORAMAS CLIMÁTICOS RELACIONADOS ÀS ESPÉCIES FLORESTAIS

O estudo dos impactos das mudanças climáticas nas espécies florestais é imprescindível à produção de conhecimento base para o direcionamento de ações adaptativas e mitigatórias. Os cenários climáticos desenvolvidos na seção anterior foram cruzados com os mapas temáticos de ocorrência original das espécies avaliadas, resultando em uma conjuntura florestal preocupante, na qual parte das espécies deixariam de ocupar extensas áreas caso as projeções de aumento de temperatura futura venham a se concretizar.

Abordando os resultados obtidos neste trabalho em uma análise generalista, o cenário mais otimista, que considerou uma elevação de 0,3°C nas temperaturas mínimas, médias e máximas resultou nas menores reduções na distribuição original das espécies, seguindo a lógica prevista. Neste quadro, as espécies perderam até 33% da área favorável a sua ocorrência (Figura 33), em que a temperatura máxima foi o principal limitante, cabendo algumas exceções (Figura 37).

A avaliação do cenário extremo, cujo aumento previsto foi de 6,0°C, ocasionaria potenciais perdas de 100% na área hoje favorável a ocorrência de 3 espécies, dentre estas, uma já compõe a Lista Nacional das espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2008). Outras 4 estariam gravemente ameaçadas de extinção, com perdas entre 95% e 98%. As consequências da extinção dessas espécies, de importante valor ecológico-econômico para a Floresta Ombrófila Mista, são incalculáveis em todos os seus aspectos. As demais, perderiam

entre 43 a 81% de área, valores que também representam um quadro negativo à biodiversidade brasileira (Figura 34).

Com o mesmo objetivo, porém aplicando técnicas de modelagem de nicho ecológico, o estudo de Siqueira e Peterson (2003) buscou o entendimento dos efeitos das mudanças climáticas em cenários menos e mais conservativos na distribuição de 162 espécies arbóreas do Cerrado para um período de 50 anos. Os resultados mostraram uma redução da área de Cerrado de aproximadamente 25% para o cenário mais conservativo, e 90% para o menos conservativo. Dentre o total de espécies estudadas, 91 delas no cenário otimista e 123 no cenário pessimista apresentaram redução de área potencial superior a 90%. Os autores previram o deslocamento destas espécies para a região Sul do país, a qual conforme projeções climáticas do IPCC, passaria a apresentar temperaturas favoráveis com a redução da ocorrência de geadas.

A exploração dos resultados relativos aos cenários intermediário e pessimista, correspondentes a potenciais aumentos de 2,4°C e 4,8°C nas temperaturas, também representaram grandes decréscimos. Embora neste último nenhuma espécie perderia totalmente a sua área de cobertura, estas estariam restritas a poucas manchas disponíveis, com perdas de 95%. Já no primeiro cenário mencionado (2,4°C), o valor máximo de perda chega a 61%. Nota-se que as espécies não mantêm um mesmo padrão de vulnerabilidade em todos os cenários, demonstrado por uma tendência de comportamento casual, à exceção da canela-preta. As Figuras 35 e 36 expõem as áreas de potencial retração nos dois cenários mencionados.



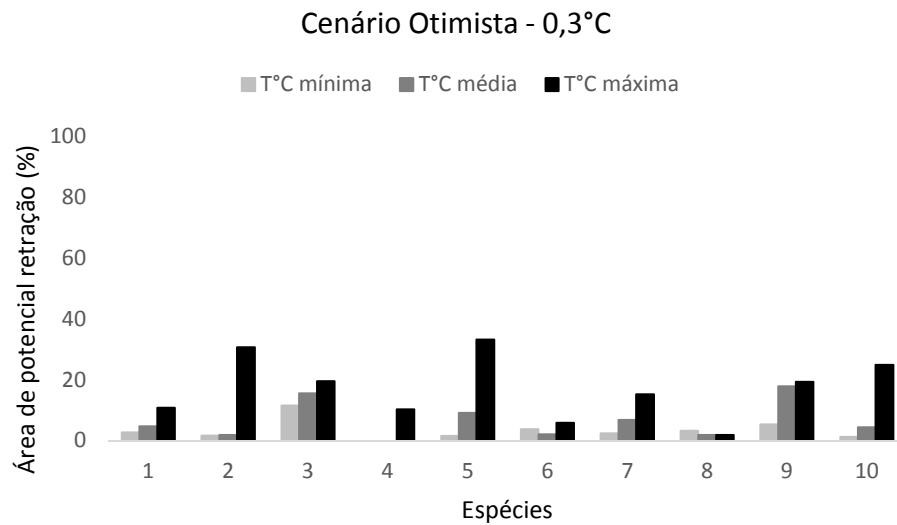


FIGURA 33 - PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 0,3°C. 1 = araucária; 2 = erva-mate; 3 = bracatinga; 4 = imbuia; 5 = canela-preta; 6 = ipê-amarelo; 7 = pinheiro-bravo; 8 = canela-sassafrás; 9 = branquilha; 10 = vassourão-branco  
 FONTE: A autora

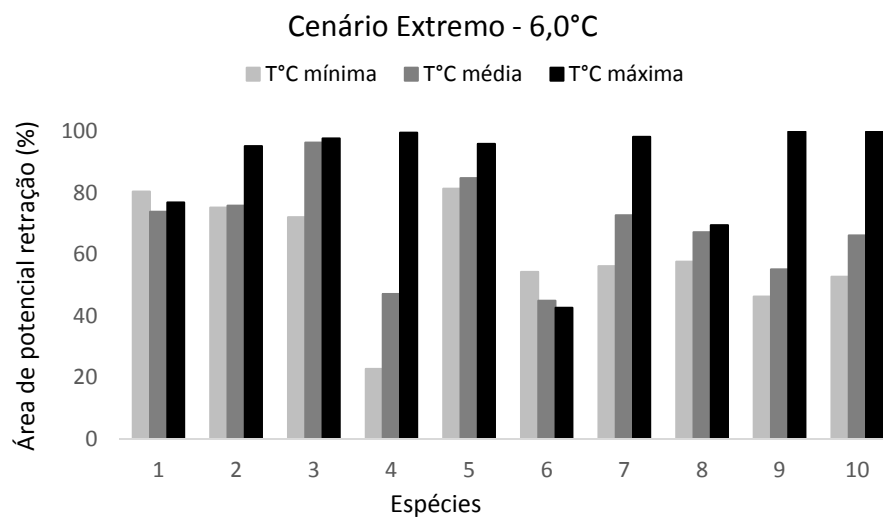


FIGURA 34 - PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 6,0°C. 1 = araucária; 2 = erva-mate; 3 = bracatinga; 4 = imbuia; 5 = canela-preta; 6 = ipê-amarelo; 7 = pinheiro-bravo; 8 = canela-sassafrás; 9 = branquilha; 10 = vassourão-branco  
 FONTE: A autora

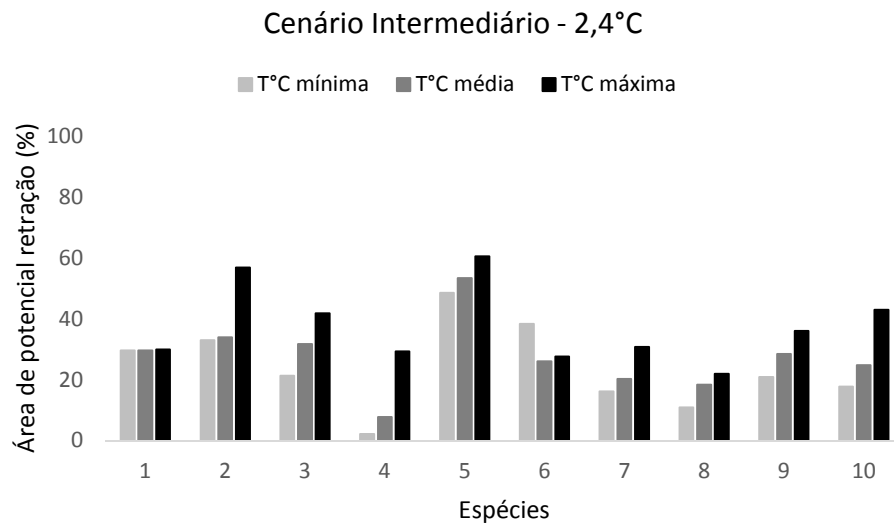


FIGURA 35 - PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 2,4°C. 1 = araucária; 2 = erva-mate; 3 = bracatinga; 4 = imbuia; 5 = canela-preta; 6 = ipê-amarelo; 7 = pinheiro-bravo; 8 = canela-sassafrás; 9 = branquilha; 10 = vassourão-branco  
 FONTE: A autora

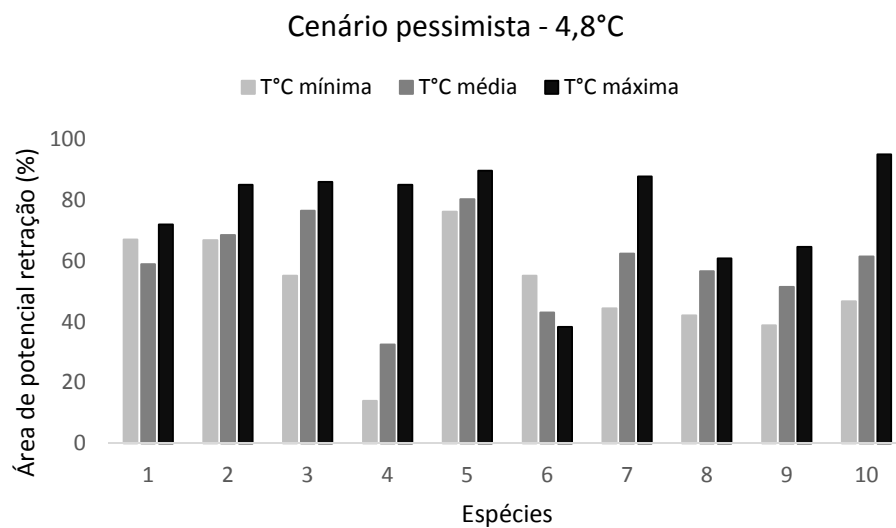


FIGURA 36 - PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DE UM AUMENTO DE 4,8°C. 1 = araucária; 2 = erva-mate; 3 = bracatinga; 4 = imbuia; 5 = canela-preta; 6 = ipê-amarelo; 7 = pinheiro-bravo; 8 = canela-sassafrás; 9 = branquilha; 10 = vassourão-branco  
 FONTE: A autora

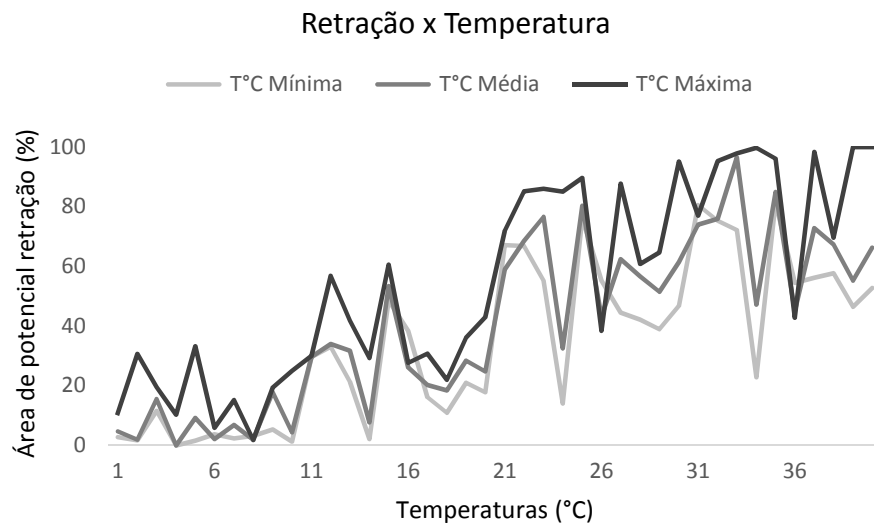


FIGURA 37 - PERCENTUAL DE RETRAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES AVALIADAS EM FUNÇÃO DA VARIANTE DE TEMPERATURA

FONTE: A autora

Colombo (2007) trabalhou com 38 espécies arbóreas típicas da Mata Atlântica *lato sensu* buscando delinear áreas de distribuição geográfica futura pela técnica de modelagem preditiva. Observou-se que em cenários pessimista e otimista de aquecimento global para os próximos 50 anos, haverá uma potencial redução na área de ocorrência das espécies estudadas, além da previsão de um possível deslocamento das mesmas também para região mais ao Sul das observações, corroborando com Siqueira e Peterson (2003). No cenário pessimista, as espécies chegam a perder 73% de sua área natural, situação que o autor considera alarmante.

Também em uma análise geral sobre os impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade de biomas brasileiros, os cenários apresentados partem da ideia que os futuros padrões climáticos serão incompatíveis com a ocorrência da vegetação atual. Assim, 10 cenários projetados para 2100 apontam uma desertificação ou semi-desertificação da Caatinga, indicando uma probabilidade de sucessão a uma formação desértica. Já quanto as análises sobre a Amazônia, a maioria dos modelos convergem para um processo de savanização. As projeções direcionam ainda, de forma geral, para uma redução de 18% das áreas cobertas por florestas tropicais (CANHOS et al., 2008).

Estima-se ainda que espécies de habitat restrito, como as variedades que habitam os polos e topos de montanhas, respondem as mudanças climáticas com severas taxas de retração e tem sido os primeiros grupos de espécies extintos nas

recentes investigações sobre mudanças do clima (PARMESAN, 2006). Não obstante, os remanescentes de habitats disponíveis para o xaxim (*Dicksonia sellowiana*) serão ainda menores futuramente, com reduções de área potencial superiores a 50%, tendo em vista as previsões de clima futuro trazidas por Medeiros et al. (2013).

Observa-se, nessa análise da literatura, a indissociável relação entre os fatores climáticos na distribuição, fenologia, comportamento, e outras variáveis que caracterizam a funcionalidade de ecossistemas florestais. Embora não haja amplos estudos acerca da distribuição geográfica de espécies das florestas brasileiras que permitam uma comparação direta, este trabalho corrobora com os demais na medida que as previsões aqui obtidas são igualmente alarmantes.

A relação entre alterações no clima e o comportamento das árvores estão além do aspecto de redução de área habitável aos indivíduos, mas também, atuam reduzindo o seu crescimento, tendo em vista avaliações que prevêm a redução da capacidade das florestas em sequestrar carbono (RAMANKUTTY et al., 2007).

As avaliações da distribuição de espécies florestais presentes na literatura convergem, apesar da heterogeneidade de métodos, quanto aos distintos padrões de distribuição seguidos pelas várias espécies mesmo em áreas geográficas semelhantes, o que evidencia que as necessidades ambientais assim como potenciais elementos limitantes são igualmente distintos para cada uma delas. Assim, é de grande contribuição a análise individual de espécies trazendo destaque a seus aspectos correspondentes, em decorrência de uma análise global.

Para esse trabalho, os erros associados a predição dos cenários do clima e relacionados aos registros de distribuição de espécies ocorrentes na Floresta Ombrófila Mista no Paraná, permitem indicar os métodos aqui empregados na elaboração de mapas de probabilidade de ocorrência de espécies, avaliando a vulnerabilidade das mesmas a potenciais mudanças climáticas. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) desempenhou importante papel na identificação e descrição de campos favoráveis a habitação dessas espécies.

Destaca-se ainda a posição de Arasato e Amaral (2013), que indicam o clima e topografia entre as variáveis que mais influenciam a distribuição de um grupo em escala regional a mundial. Assim, apesar de entender que outros elementos inferem na forma como as espécies florestais se distribuem, as variáveis aqui empregadas – de grande importância - torna a avaliação menos complexa e mais solucionável.

Assim, a sobreposição dos planos temáticos das temperaturas, ponderadas pela precipitação e altitude, com a ocorrência das espécies resultou em um importante auxílio no entendimento de uma possível distribuição futura da Floresta Ombrófila Mista.

### 3.3.2 POTENCIAIS IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO CLIMA NA DISTRIBUIÇÃO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

No imperativo existente em âmbito global para se avaliar a resposta ambiental e a capacidade de adaptação ou plasticidade de espécies florestais frente as possíveis mudanças do clima, este tópico buscou apresentar os resultados referentes à vulnerabilidade observada por algumas espécies da FOM, em uma avaliação combinada (temperatura mínima, média e máxima x cenários climáticos), em uma avaliação crítica (cenário extremo) e isoladamente por espécie, fazendo o alinhamento e correspondência com seus respectivos mapas de probabilidade de retração geográfica.

Conforme Martinelli e Moraes (2013), em sua definição acerca das categorias e critérios de extinção, observou-se para os resultados extremos - aumento de 6,0°C na temperatura máxima do Paraná em 2100 - que a imbuia (*Ocotea porosa*), o branquilha (*Sebastiania commersoniana*) e o vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*) estariam extintas, tendo em vista que 100% da sua área original de ocorrência não seria mais favorável à sua sobrevivência. Em seguida, a bracatinga (*Mimosa scabrella*), o pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*), a canela-preta (*Ocotea catharinensis*) e a erva-mate (*Ilex paraguariensis*) podem ser classificadas como criticamente em perigo de extinção, por obterem uma redução estimada de mais de 90% de sua área de ocorrência. As referidas espécies terão um declínio de: 98%, 98%, 96% e 95%, respectivamente. Em sucessão, a araucária (*Araucaria angustifolia*) com 81%, e a canela-sassafrás (*Ocotea odorifera*) com 70% de área de potencial retração classificam-se como em perigo de extinção. Já o ipê-amarelo (*Handroanthus albus*) com 55% é a espécie que melhor respondeu a potenciais alterações no clima quando comparada com as demais, e classifica-se como vulnerável.

É importante mencionar, ainda de acordo com Martinelli e Moraes (2013), que a continuidade da ameaça, a exposição a outros fatores de risco naturais e

antrópicos, assim como os eventos estocásticos em períodos curtos e de futuro incerto podem agravar a situação das espécies, sendo necessária uma recategorização, expondo-se às situações de criticamente em perigo ou até mesmo extintas em pouquíssimo tempo.

A avaliação combinada traz um aspecto interessante por atender uma proporcionalidade ao descrever qual espécie é mais vulnerável por temperatura (mínima, média e máxima) e por cenário testado, permitindo uma análise complementar com a inclusão de avaliação da vulnerabilidade mais realista. Neste quadro, apresentado na Figura 38, a canela-preta que não estaria extinta é a que apresenta a maior frequência de valores altos em retração geográfica, marcando um padrão de comportamento. É necessário, respeitando seu enquadramento como criticamente em perigo, o monitoramento das pressões sofridas por essa espécie para auxiliar na tomada de decisões. Embora as outras espécies tenham demonstrado seguir um funcionamento de retração por temperatura e cenário mais aleatorizado, é igualmente importante investigar, estudar, controlar e fiscalizar as situações de risco associadas a essas espécies.

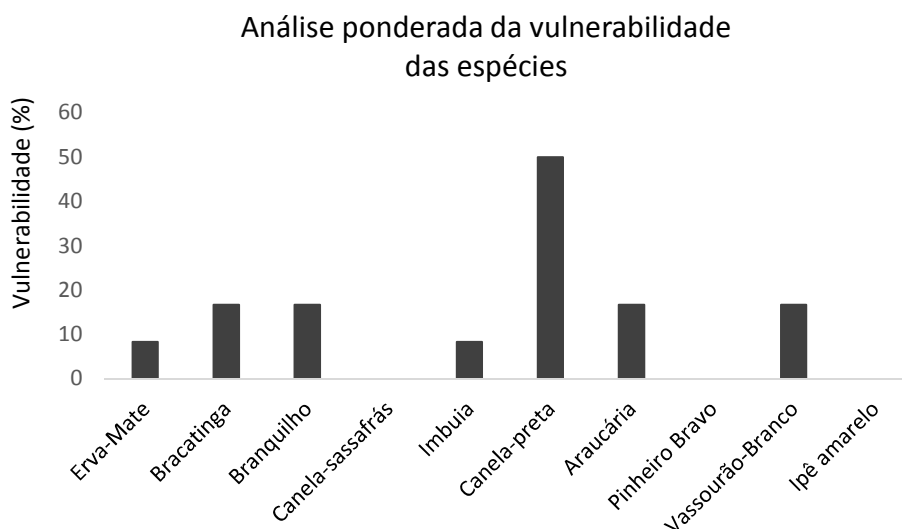


FIGURA 38 - ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DAS ESPÉCIES PELA COMBINAÇÃO VARIANTE DE TEMPERATURA X CENÁRIO DE TEMPERATURA PARA O PARANÁ  
FONTE: A autora

As inferências relacionadas as áreas de potencial retração geográfica tratadas isoladamente por espécie estão apresentadas a seguir:

- Araucária (*Araucaria angustifolia*)

A existência de extensas áreas florestais no Paraná foi imprescindível à colonização e o desenvolvimento das atividades econômicas no estado. A redução quantitativa e qualitativa da Floresta Ombrófila Mista, como consequência desse desenvolvimento econômico, ocorreu em pouco espaço de tempo (SANQUETTA et al., 2007). Ainda hoje, conforme já abordado em seções anteriores, esse tipo florestal extremamente fragmentado continua experimentando pressões de distintas naturezas e intensidades, representando por um conjunto de situações peculiares às diversas regiões. Não obstante, os impactos oriundos do aquecimento das temperaturas também representarão uma fonte de perturbação à sobrevivência e continuidade dessa espécie, conforme a Figura 39 e Tabela 8.

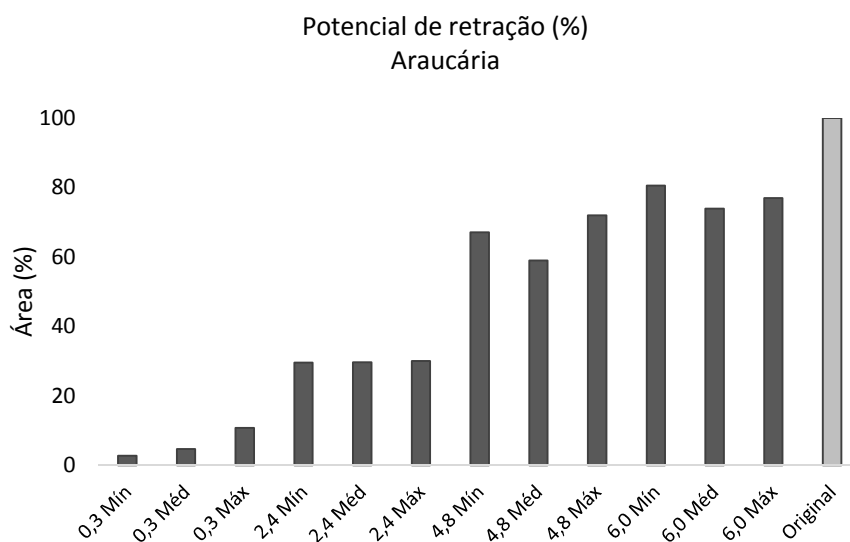


FIGURA 39 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Araucaria angustifolia* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima

FONTE: A autora

TABELA 8 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Araucaria angustifolia* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	299.920	517.384	1.184.232
Área (%)	2,73	4,71	10,79
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.250.489	3.254.025	3.292.905
Área (%)	29,61	29,64	29,99
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	7.363.777	6.472.768	7.902.503
Área (%)	67,07	58,95	71,98
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	8.840.180	8.117.164	8.448.678
Área (%)	80,52	73,93	76,95

FONTE: A autora

A partir da análise dos percentuais apresentados, observa-se que a progressão de aumento de temperatura revela a sensibilidade para temperaturas mínimas, razão pela qual os valores de perda não são crescentes, fugindo do padrão para o conjunto das espécies, cujas perdas mais notáveis tiveram ligação com as máximas. O aumento de 6,0°C na temperatura mínima foi o limitante absoluto a ocorrência da espécie, representado pela maior perda de área de retração de quase 9 milhões de hectares (81%) em relação a original. Avaliando o cenário mais conservacionista, de aumento de 0,3°C na temperatura mínima, contata-se uma perda de quase 300.000 hectares de área de ocorrência.

Os outros cenários, de contextos mais intermediários, apresentaram dados igualmente preocupantes, representado por projeções de extensas retrações geográfica. Os valores de perda de área favorável ao desenvolvimento das araucárias estão entre 3 e 8 milhões de hectares, que correspondem de 30% a 72% da área total original. Para entender a representatividade desses valores na urgência em manejar e conservar essa espécie, vale ressaltar que *A. angustifolia* já compõe a Lista Nacional das espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2008). Isso significa que o processo predatório sofrido pelos pinheiros deve ser urgentemente refreado.

Esses resultados se tornam ainda mais críticos quando avaliados holisticamente, afinal, para além do aspecto de área favorável a ocorrência dessa



espécie, a possível adversidade à ocupação da araucária trazia prejuízos para toda a organização do ecossistema e sociedade, tendo em vista os inúmeros papéis que ela desempenha: função ecológica na criação de ambiente ideal para outras espécies tolerantes à sombra (FRANCO e DILLENBURG, 2007); alimento para a fauna durante os meses mais frios (PINHEIRO e GRANADE, 2009); alimento humano com grande valor nutricional e relevante atividade econômica para um número considerável de famílias (KLABUNDE, 2012); importante recurso madeireiro, de boa qualidade (SANQUETTA et al., 2014a); fomentadora histórica do desenvolvimento econômico e cultural do Paraná (SANQUETTA et al., 2007); relevante função de fixadora de carbono orgânico em sua biomassa (WATZLAWICK, 2003), entre outros.

Embora a Floresta Ombrófila Mista seja considerada uma das formações florestais mais sensíveis às variações climáticas (BERTOLDO et al., 2014), no alinhamento de estratégias de mitigação e adaptação como enfrentamento aos cenários aqui reportados, é importante considerar os aspectos multifuncionais históricos, os quais descrevem a origem e estratégias de sobrevivência empregadas por essa espécie. A distribuição da araucária no Sul do Brasil é originada a partir do Holoceno, e assim, quando o clima tornou-se mais úmido e quente e menos sazonal, foi possível a expansão dessa espécie nos planaltos (IRIARTE e BEHLING, 2007). Conta-se com o fato de que essas Florestas passaram por uma série de contrações e expansões pela flutuação de períodos mais frios e secos combinados a intervalos com temperaturas mais elevadas e umidade mais alta (BEHLING, 2002). No Paraná, os pinheiros reinaram desde provavelmente a última glaciação e são árvores longevas, atingindo em média entre 140 a 250 anos.

Outra vantagem adaptativa é seu temperamento parcial de pioneira, embora ela assim não seja classificada, que segundo Solórzano-Filho e Kraus (1999), permite colonizar áreas abertas ou campos e criar condições que facilitam o estabelecimento de outras espécies. Apesar de a araucária contar com polinizadores e barocoria, uma desvantagem relaciona-se com a questão do desenvolvimento reprodutivo e da formação das sementes, que é um processo demorado, podendo levar até 4 anos (SHIMOYA, 1962), bem como, com as baixas taxas de regeneração natural (WREGE et al., 2009).

Toda a conjuntura apresentada acerca das consequências da redução da participação e ocorrência dessa espécie, assim como a respeito das estratégias de

sobrevivência tem por objetivo direcionar pontos a serem considerados na avaliação dos impactos que possíveis mudanças climáticas venham a exercer, como subsídio a planejamento de ações futuras de manejo dos recursos, permitindo enfrentar as alterações no Estado e garantir uma regulação da produção florestal dessa espécie, tão importante para a economia do Paraná.

O produto final da avaliação da probabilidade do risco de extinção de *A. angustifolia* frente ao aquecimento no Paraná buscou ser retratada com a melhor qualidade, tendo em vista as informações e recursos disponíveis, buscando preencher os espaços vazios no conhecimento acerca da distribuição futura dessa espécie diante dos panoramas climáticos para o Estado, contribuindo ao desafio existente na ciência florestal que é a construção de planos de manejo e conservação futuros eficientes. Os mapas finais estão agrupados por variante de temperatura nas Figuras 40, 41 e 42.

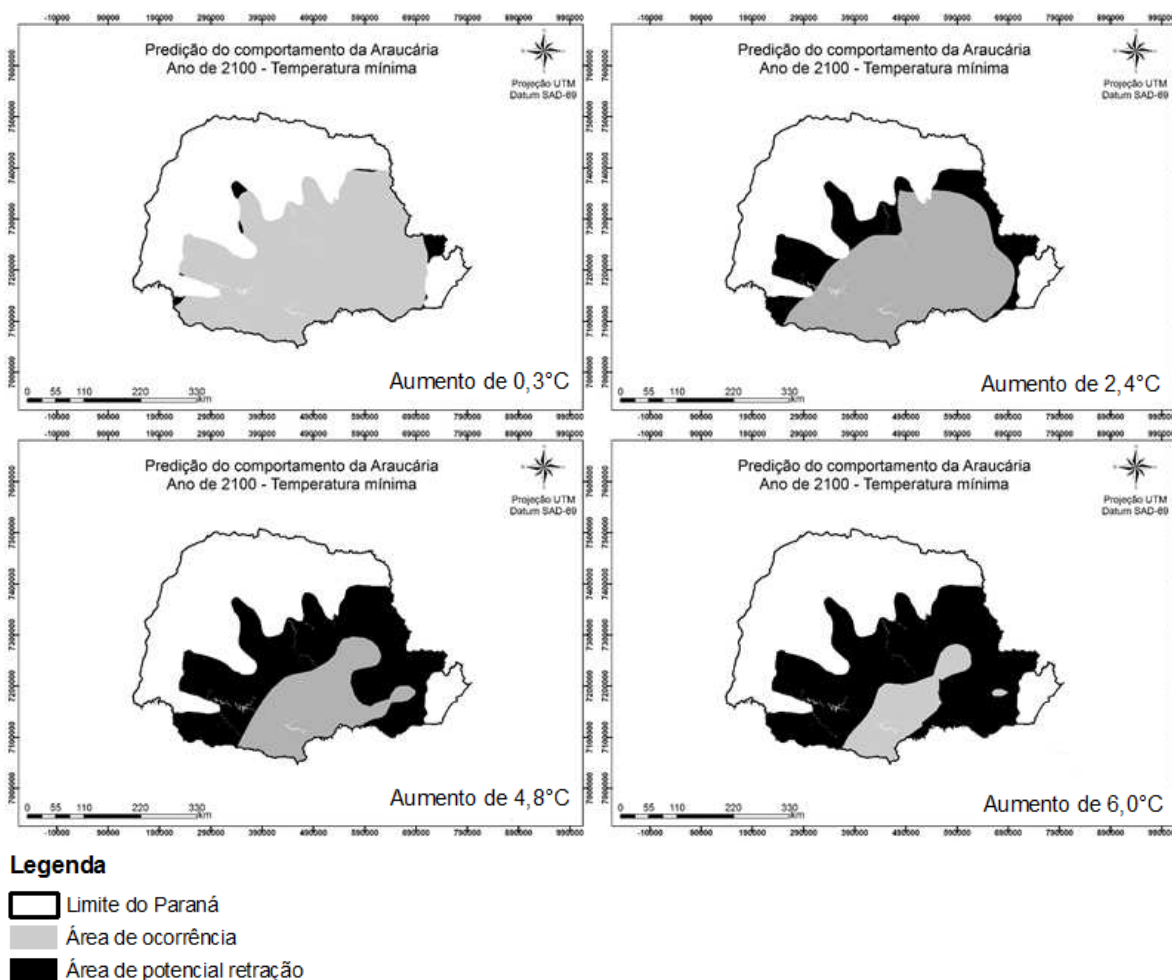


FIGURA 40 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Araucaria angustifolia* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

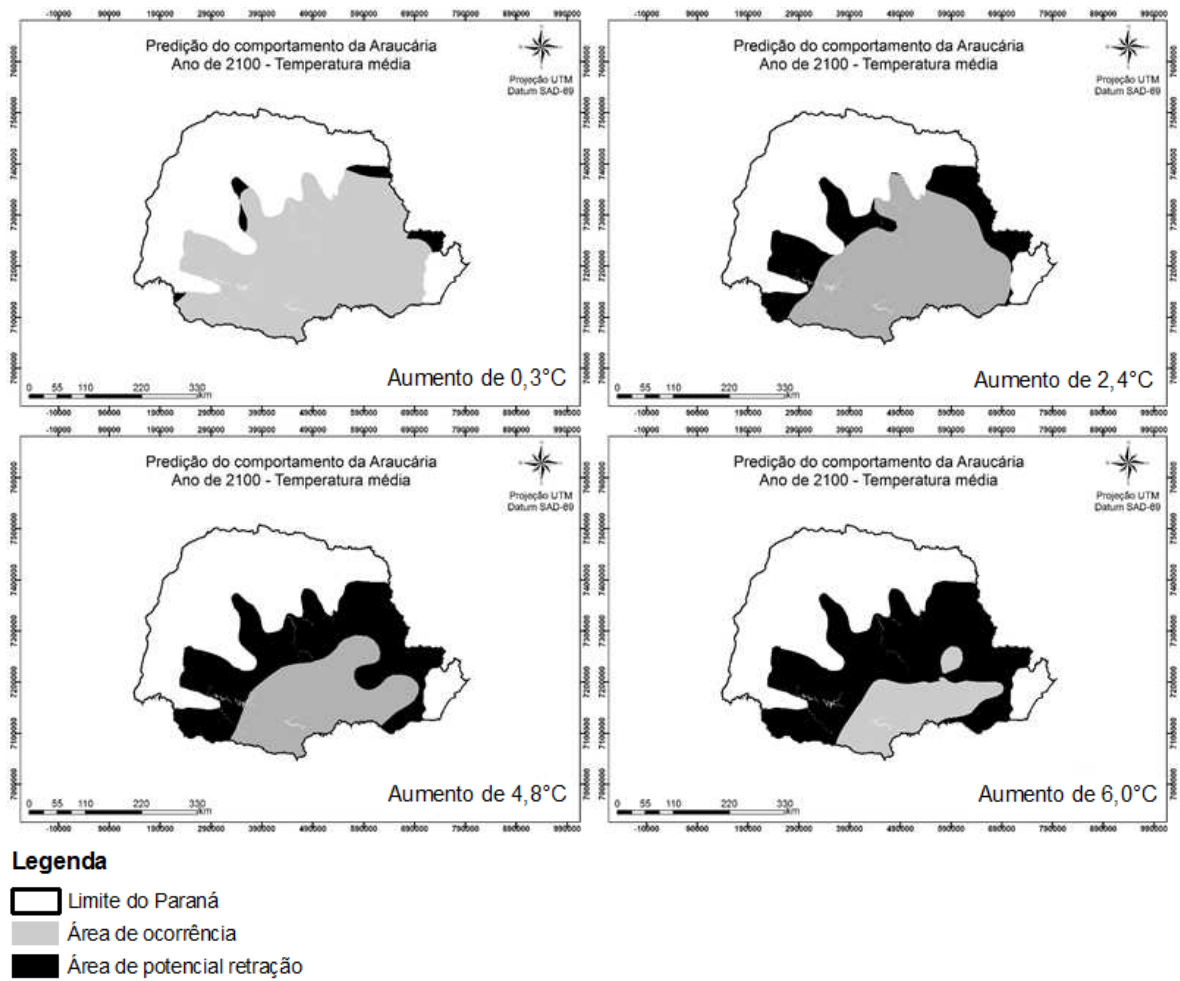


FIGURA 41 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Araucaria angustifolia* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

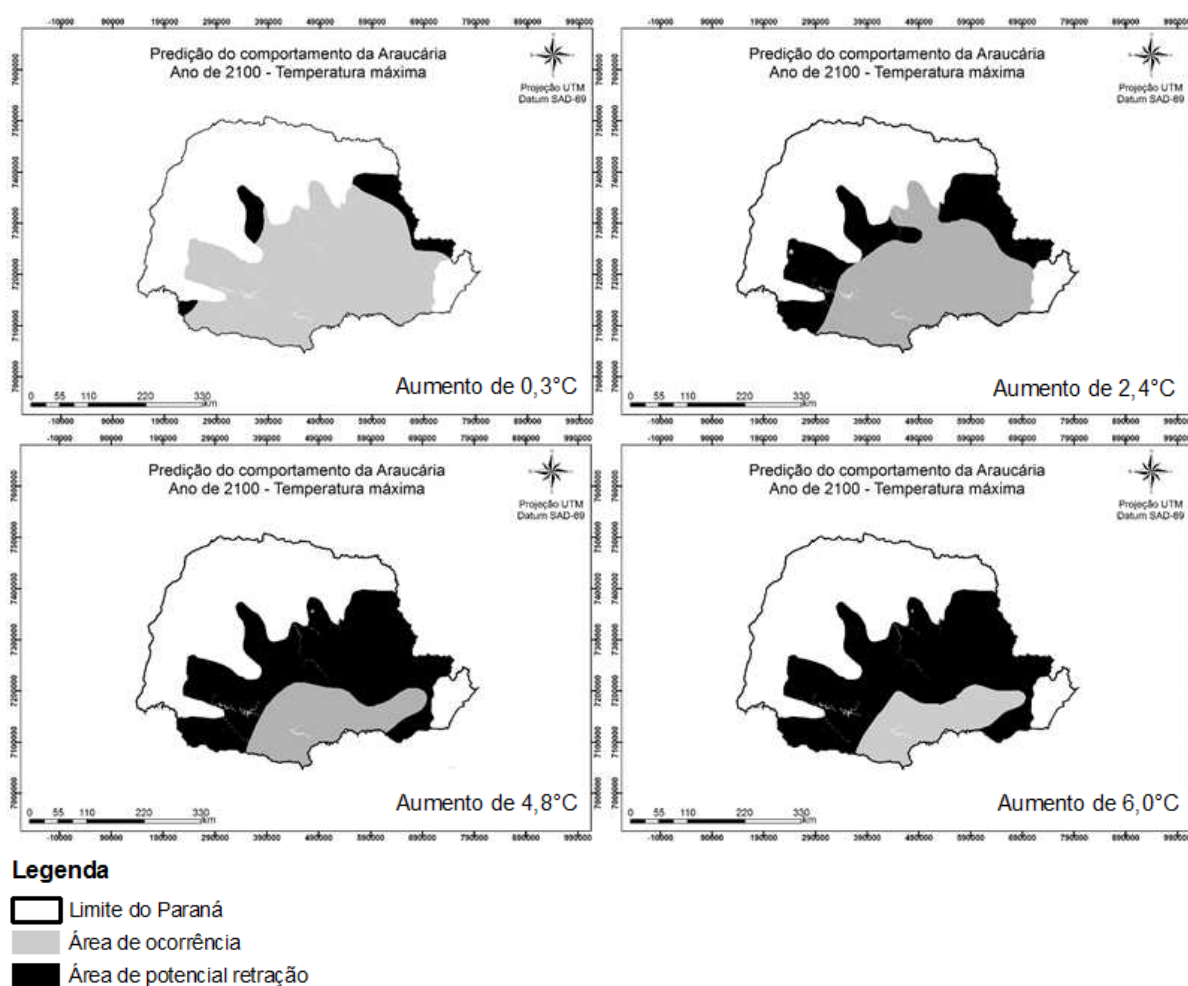


FIGURA 42 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Araucaria angustifolia* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)  
FONTE: A autora

Igualmente com o objetivo de compreender os efeitos das mudanças climáticas em populações de *Araucaria angustifolia* em todas as suas áreas de ocorrência, Wrege et al. (2009) modelaram as taxas de condições climáticas favoráveis predizendo o efeito do aumento de 1°C, 2°C e 3°C nas áreas de ocorrência naturais dessa espécie considerando a latitude, longitude e altitude. Os autores concluíram uma significativa redução das áreas propícias a sobrevivência da araucária, e com um aumento de 3°C, apenas uma pequena área na parte mais alta da região Sul do Brasil, será favorável.

Virgens Filho et al. (2010), também seguindo projeções do IPCC (aumentos de 1,4°C e 5,8°C) para 2100, estudou a relação desses cenários climáticos simulados para a região de florestas dos Campos Gerais do Paraná, cuja análise dos resultados alertaram para um ambiente em um futuro próximo desfavorável ao

desenvolvimento das espécies que hoje habitam a região, entre elas, a araucária. Observou-se que com um aumento de 1,4°C na temperatura média relacionado a um incremento de 14% na precipitação pode ser favorável ao crescimento da floresta em função de uma melhora significativa da atividade cambial, entretanto, para a projeção crítica de 5,8°C associado a um incremento de 58% na precipitação, há a possibilidade de ocorrência de eventos extremos diários, apresentando variação no crescimento diamétrico.

Os estudos da literatura que abrangem os aspectos aqui discutidos são ainda emergentes, e embora haja inúmeros desafios, admite-se uma procedente relação entre os resultados descritos nesse trabalho e o observado pela literatura, demonstrado pela legitimidade das previsões. Conforme complementam Jump e Penuelas (2005), como o conhecimento sobre as respostas das populações florestais nativas às mudanças do clima ainda são insuficientes, as avaliações do potencial adaptativo de espécies não podem ser comparadas diretamente pela variedade de métodos empregados, apenas avaliados quanto a sua coerência. A complexidade das florestas naturais e da previsão climática, ainda coloca essa ciência como em desenvolvimento, no entanto, avalia-se a extrema utilidade que é a construção de mapas de vulnerabilidade de espécies florestais.

Especialmente para a araucária, de grande importância ecológica-econômica-social, a predição dos habitats naturais que serão afetados pelas mudanças do clima permitirá relacionar as prioridades e conservação e direcionar instrumentos legais que auxiliem na proteção das espécies. Propõe-se, dentre essas medidas, que sejam desenvolvidos estudos e projetos na qual os aspectos genéticos, de bancos de germoplasma, de políticas conservacionistas e ambientais, de projetos de REDD+ e crédito de carbono, de estrutura e dinâmica florestal, de entendimento das interações bióticas e abióticas, entre outras questões, sejam fundamentados para a tomada de decisões mitigatórias e adaptativas.

- Bracatinga (*Mimosa scabrella*)

De acordo com Bartoszeck (2000), a bracatinga é característica e exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista, nas formações montana e altomontana, formando conglomerados puros denominados de bracatingais. Esse endemismo associado demonstra os hábitos restritos dessa espécie, em que potenciais perdas de habitat representam imensa ameaça à sua sobrevivência, já

classificada como criticamente em perigo. A Figura 43 e Tabela 9 descrevem os percentuais das áreas e os valores correspondentes em hectare.

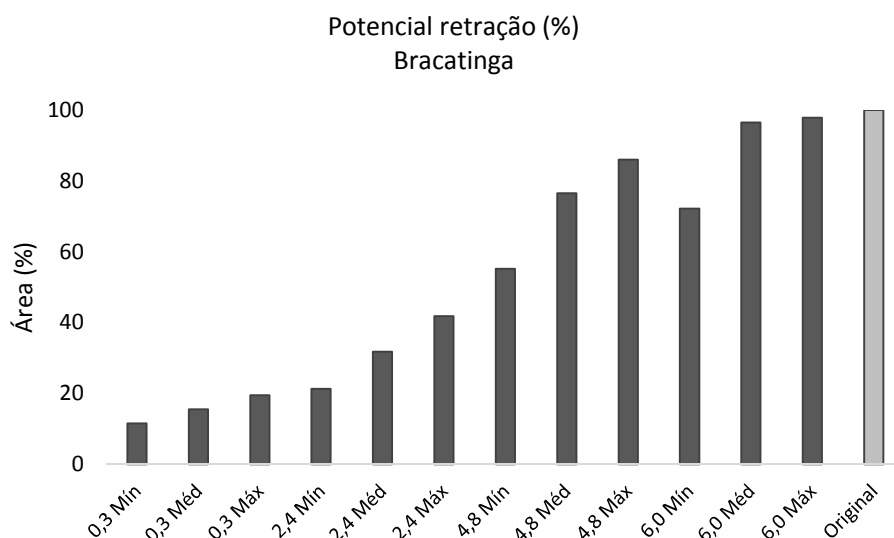


FIGURA 43 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Mimosa scabrella* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima

FONTE: A autora

TABELA 9 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Mimosa scabrella* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	732.650	987.940	1.240.300
Área (%)	11,52	15,53	19,49
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	1.357.987	2.021.220	2.661.239
Área (%)	21,34	31,77	41,83
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.510.079	4.870.932	5.470.143
Área (%)	55,17	76,56	85,98
6,0 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	4.590.854	6.137.599	6.224.273
Área (%)	72,16	96,47	97,83

FONTE: A autora

Levando a efeito uma avaliação dos resultados, aponta-se a concentração de elevadas taxas de retração geográfica, com perdas que vão desde 700.000 hectares até 6 milhões (98%) de sua área original, cuja distribuição é restrita. Embora as projeções tenham sido realizadas para um período de 90 anos posterior ao atual,

estima-se que o ritmo de extinção seja mais acelerado que o ritmo da ciência e das políticas ambientais em identificá-lo, caracterizá-lo e contê-lo.

Em contraposição a relação clima-floresta, que pode vir a ser um importante elemento contrário ao desenvolvimento dos bracatingais, a exploração dessas populações, base significativa no aspecto social e econômico de muitas famílias do Sul do Brasil (BATISTA, 2012), parece ser realizada de maneira mais sustentável em detrimento de outras espécies conhecidas. É provável que os multiprodutos oriundos dessa exploração tenham motivado a geração de estudos visando um manejo sustentável, bem planejado, com possibilidades de exploração conhecidas, e conhecimento econômico (ROCHADELLI, 1997; WEBER, 2007; STEENBOCK et al., 2011; RIBEIRO e MACHADO, 2012). Outro importante fator positivo à ocorrência da bracatinga é sua característica de pioneira e de rápido crescimento (BATISTA, 2012).

Pelas mesmas razões dispostas acima, o impacto da perda de área favorável a ocorrência dessa espécie ocasionaria consideráveis prejuízos econômicos, tendo em vista os numerosos cultivos de plantios puros atualmente gerenciados por pequenos proprietários para fins energéticos, assim como, o aproveitamento da potencialidade dessa espécie em produção madeireira, conforme descreve Carpanezzi (2006). O referido autor aborda ainda o uso das folhas para consumo animal, e o néctar e pólen para apicultura.

Um entrave à sobrevivência da bracatinga frente a mudanças do clima relaciona-se com sua baixa longevidade, com vida média de 8 a 12 anos, em que um apenas um pequeno percentual dos indivíduos pode atingir 25 anos (Baggio, 1994). Esse elemento evidencia uma situação de risco no âmbito das alterações climáticas de rápidas velocidades, considerando que os processos associados às estratégias adaptativas e especiações são duradouros, por gerações, para criar respostas a esses desafios.

Os mapas apresentados nas Figuras 44, 45 e 46 apresentam a probabilidade de retração geográfica nas temperaturas mínima, média e máxima, respectivamente.

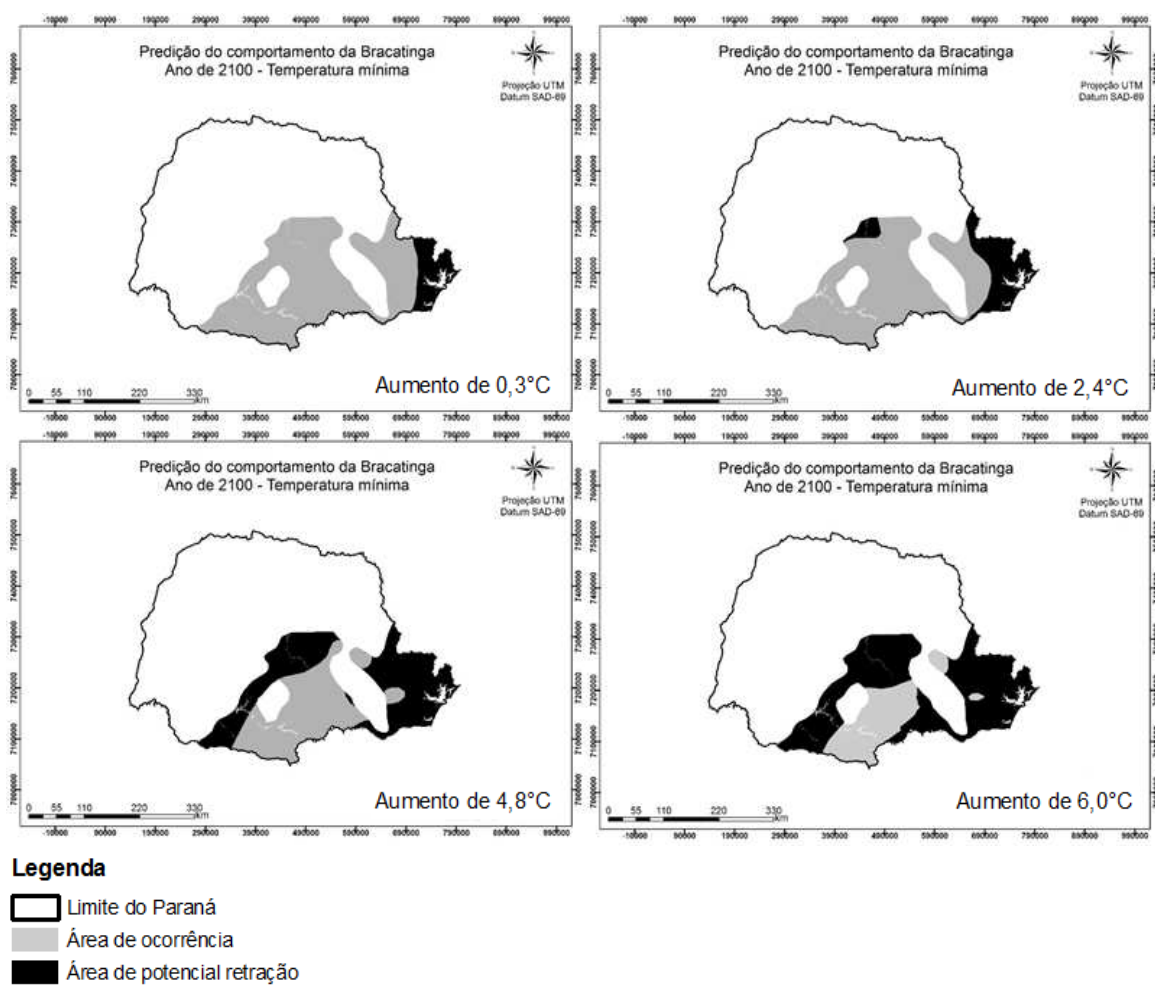


FIGURA 44 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Mimosa scabrella* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora



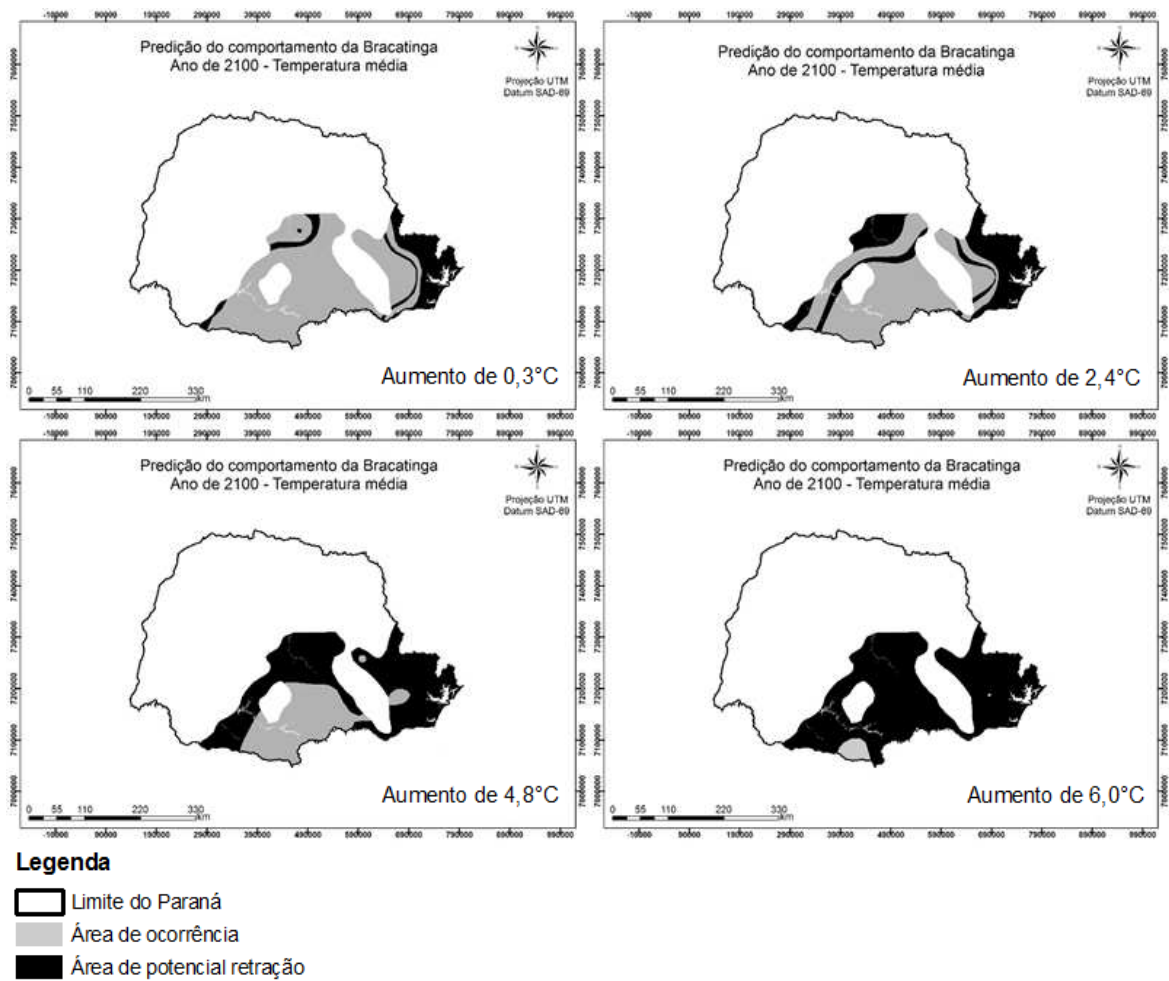
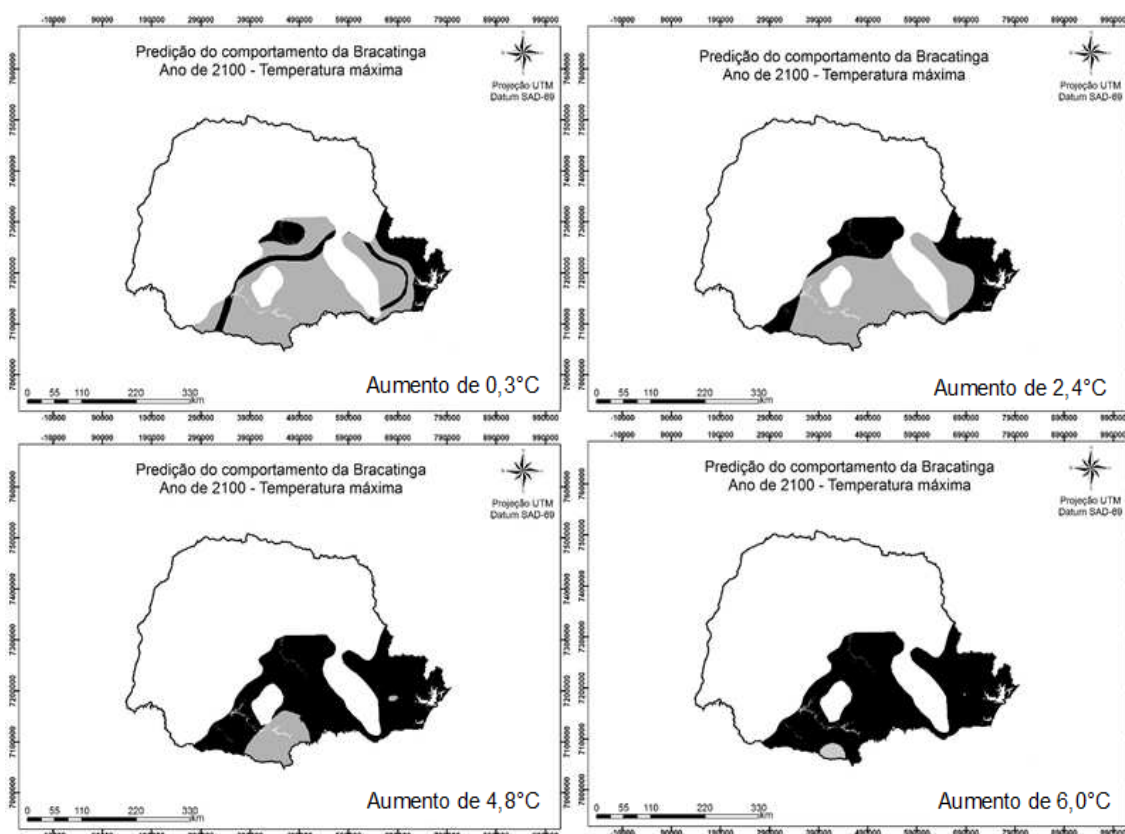


FIGURA 45 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Mimosa scabrella* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 46 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Mimosa scabrella* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

Esse estudo representa uma das poucas pesquisas que relacionaram a previsão do impacto das mudanças climáticas em escala de espécie florestal no Brasil. O foco específico na bracatinga, que apresenta alto endemismo, ao invés de uma análise generalizada por bioma, permite concentrar as projeções para a tipologia florestal no Estado, e por conseguinte adotar de forma mais imediata e precisa condutas, pareceres e deliberações para a manutenção de áreas propícias a continuidade dessa espécie.

Maharaj e New (2013) realizaram projeções por espécie e por grupo de espécies de indivíduos arbóreos na Ilha Caribéia de Trinidad. Os modelos visaram estimar a distribuição presente e futura dessas espécies, cuja maioria apresentou perda de mais de 50% de sua área atual, sugerindo que essa pequena ilha pode experimentar um eventual desaparecimento de espécie endêmicas e de alto valor de

importância. Como consequência, a gravidade da perda de endemismo é um fenômeno que tem impacto no mundo todo ao conduzir um grau de declínio da diversidade global de espécies.

- Branquilha (*Sebastiania commersoniana*)

Os efeitos sinérgicos das diversas variáveis que contribuem para a extinção das espécies são ainda potencializados quando adiciona-se a conversão dos habitats naturais em hostis à ocorrência das mesmas. De uma forma geral, a destruição de habitats é considerada por Baillie et al. (2004) como o principal provocador da extinção de espécies. A efeito, as mudanças climáticas somam-se a esse conjunto de elementos que transformam ambientes e paisagens, também contribuindo para a extinção.

Assim, apresenta-se as graves projeções futuras para o branquilha na Figura 47 e Tabela 10.

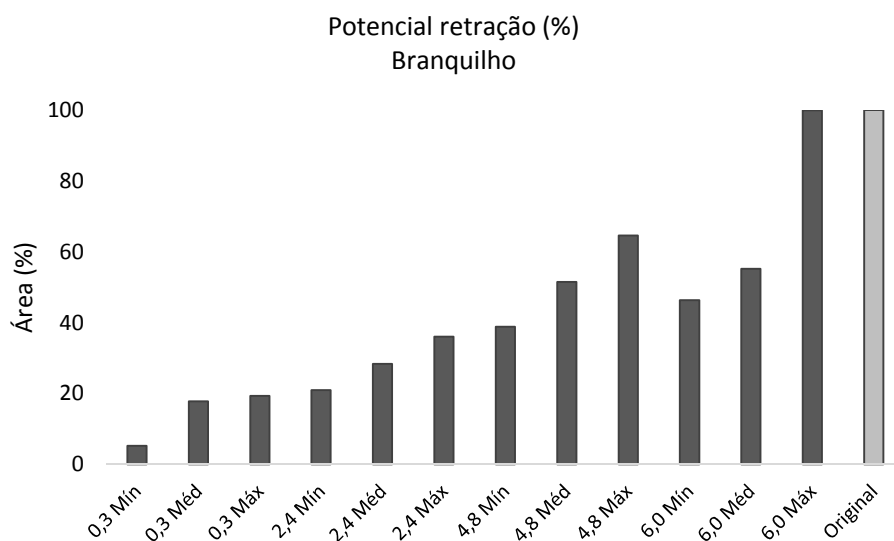


FIGURA 47 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Sebastiania commersoniana* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima  
FONTE: A autora

TABELA 10 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Sebastiania commersoniana* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	590.362	1.983.388	2.157.732
Área (%)	5,3	17,81	19,37
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	2.334.213	3.167.227	4.021.083
Área (%)	20,96	28,44	36,1
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	4.330.194	5.735.506	7.201.023
Área (%)	38,88	51,49	64,65
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	5.165.671	6.149.630	11.135.328
Área (%)	46,38	55,21	100

FONTE: A autora

Os resultados demonstram a potencial extinção do branquilha para o cenário mais pessimista, demonstrando a necessidade estratégica em planos de manejo e conservação para essa espécie. Nos cenários mais conservacionistas e intermediários, as perdas vão desde 5% a 65%. A particularidade da análise do branquilha fica na observação da equivalência entre o aumento crítico na temperatura com a completa extinção, diferente das outras espécies, em que as taxas de retração geográficas aumentavam progressivamente aos aumentos de temperatura, e não necessariamente alcançaram 100%.

A importância dessa espécie para a Floresta Ombrófila Mista Aluvial constituindo densas comunidades e frequências é demonstrada em alguns trabalhos (CARVALHO et al., 2009; GRAF NETO, 2011). Por ocorrer predominantemente em matas ciliares, é indicada para reflorestamentos mistos destinados à recuperação de áreas degradadas, nas margens dos rios, e em reservatórios de usinas hidrelétricas (SANTOS et al., 2006). As importantes funções ambientais desempenhadas por essa tipologia, como estabilidade das margens dos rios, atenuação dos picos nos períodos de cheia, sustento para a fauna, formação de corredores ecológicos para plantas e animais são descritas por Lima (2012), e estarão em risco sem a presença de um componente tão essencial. Ademais, ainda há pressões oriundas de atividades antrópicas que congregam para a deterioração desses ambientes.

McNeely (2009) relatou que a estabilidade climática é dependente de muitos dos serviços acima citados, e que essa conjectura de elementos são todos serviços naturais, que dependem da existência da biodiversidade. A qualidade de vida da humanidade está subordinada a ocorrência dessas funções, o que deixa o viés que é o ser-humano o dependente da biodiversidade. Assim, torna-se imperativo sustentá-la e protegê-la, buscando conter a erosão genética, e impedir mais extinções, garantindo a redução dos impactos ao nosso meio ambiente e a sustentabilidade da vida futura.

As Figuras 48, 49 e 50 expõem a potencial alteração estrutural calculada para o branquilha frente às mudanças do clima no Paraná.

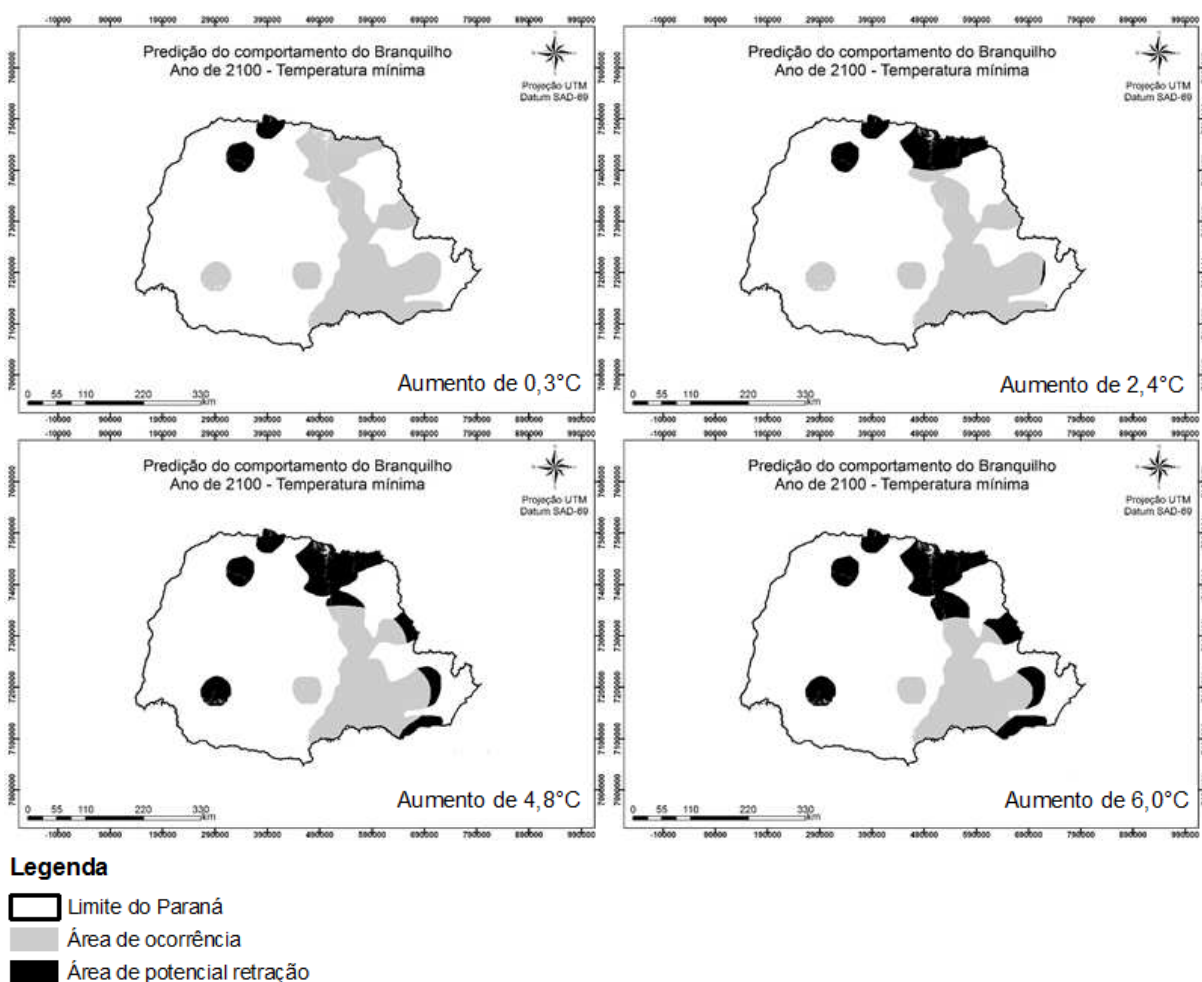
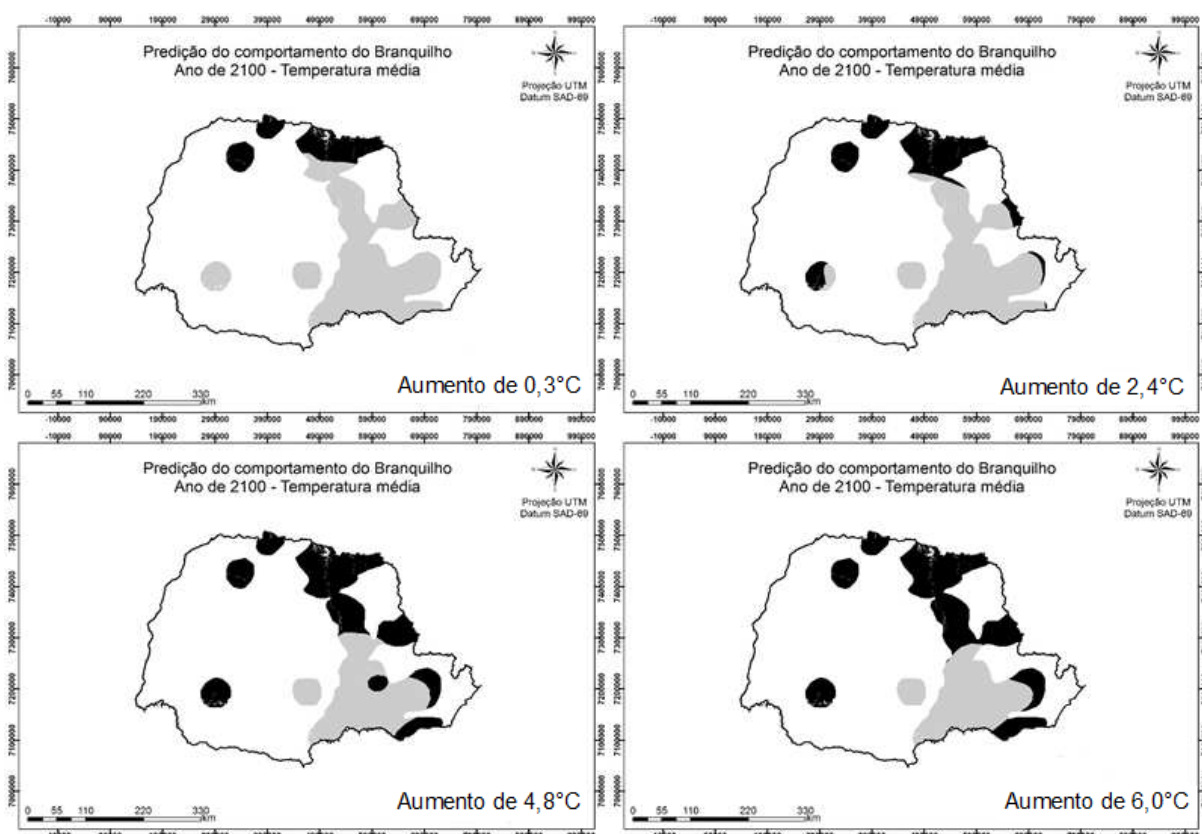


FIGURA 48 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Sebastiania commersoniana* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)  
FONTE: A autora



### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 49 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Sebastiania commersoniana* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora



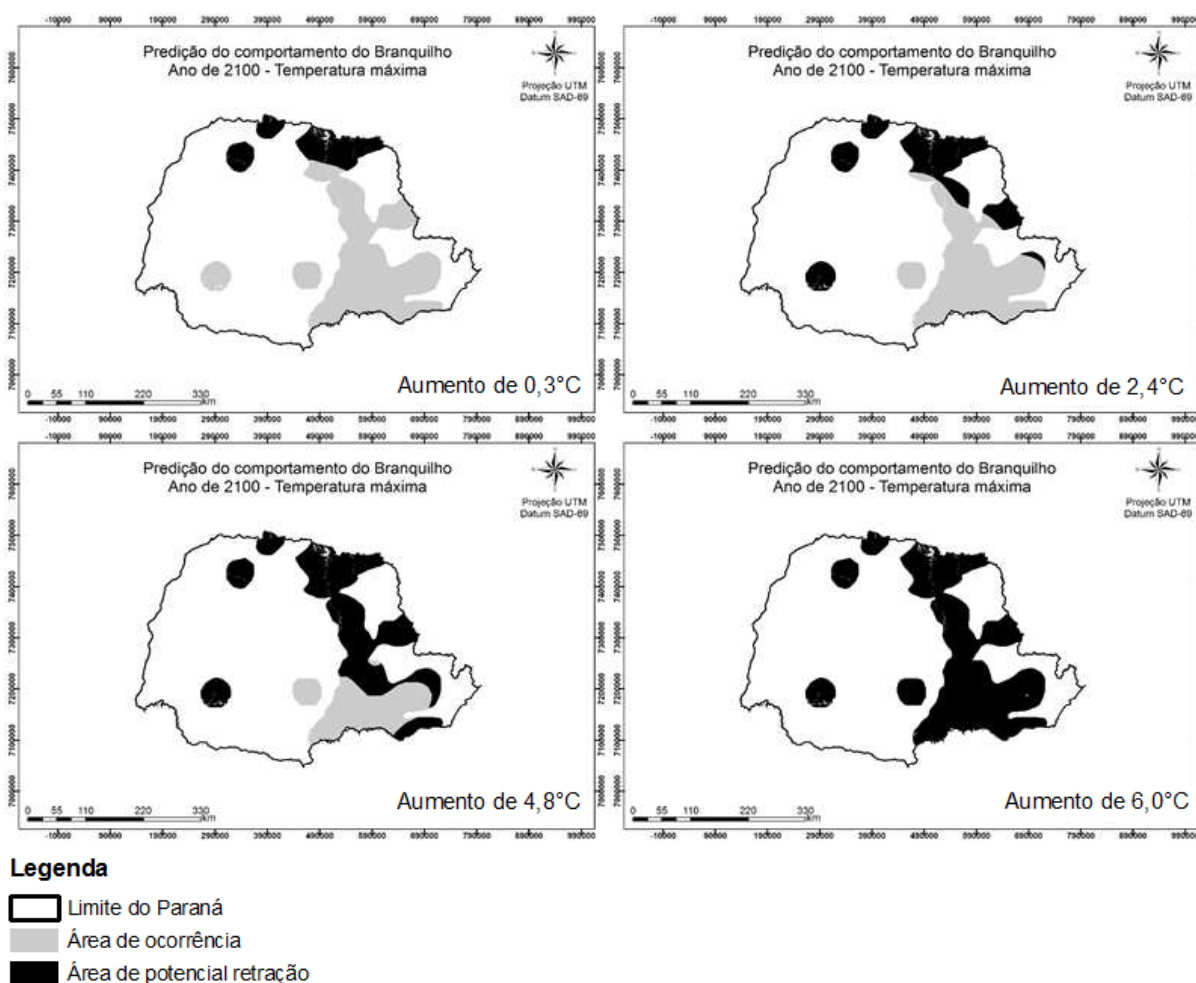


FIGURA 50 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Sebastiania commersoniana* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

Nota-se, em consonância com a literatura, a gravidade atribuída às projeções futuras do comportamento do branquiho frente ao aquecimento do Paraná, o que leva novamente a recomendação de ampliação de estudos que forneçam informações mais aprofundadas e significativas na implementação de iniciativas de manejo e proteção dessa espécie.

Projeções de distribuição de 1.350 espécies de plantas europeias sobre sete distintos cenários de mudanças climáticas para o fim do século 21 foram realizadas por Thuiller et al. (2005) visando conhecer o potencial de mudança na composição da vegetação dessas regiões. Os resultados demonstraram que muitas espécies estarão seriamente ameaçadas de extinção, em que mais da metade estarão vulneráveis ou ameaçadas até 2080. Os valores de perdas variam de 27% a 86% entre os cenários otimistas e pessimistas. Para os autores, os riscos de extinção

demonstrado por esses percentuais são altos, mesmo em cenários de temperatura moderadas e da variabilidade dos modelos.

- Canela-preta (*Ocotea catharinensis*)

O gênero *Ocotea* engloba espécies de grande interesse econômico pela qualidade madeireira e pelos óleos essenciais, cujo uso na indústria da perfumaria e de cosméticos é abundante. É presumível que essa componha uma das razões pela qual essa espécie encontra-se na lista vermelha da flora brasileira de extinção. Outro enfoque que igualmente justifica essa situação é o elevado percentual de endemismo associado com a ausência de programas efetivos de manejo florestal (QUINET et al., 2011). Segue abaixo a representação gráfica e a tabela correspondente ao percentual de retração geográfica apresentado por essa espécie em cenários climáticos (Figura 51; Tabela 11).

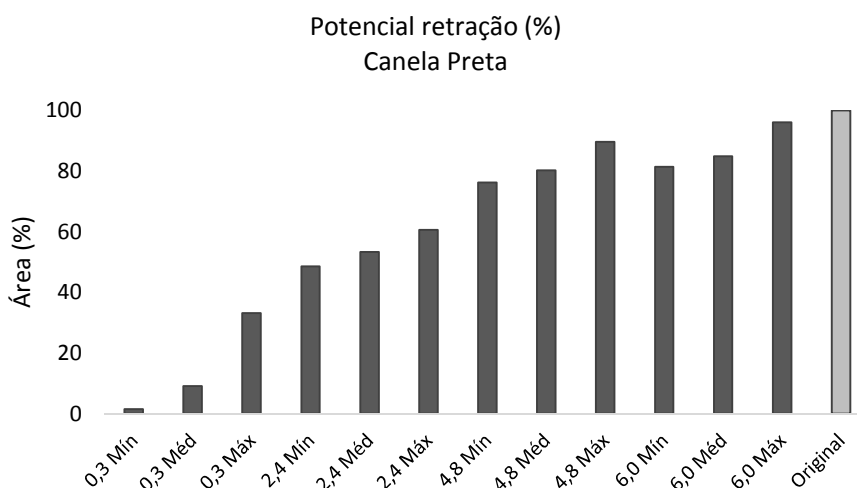


FIGURA 51 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Ocotea catharinensis* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima  
FONTE: A autora



TABELA 11 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Ocotea catharinensis* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	27.395	161.494	585.616
Área (%)	1,55	9,16	33,2
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	856.605	941.232	1.068.679
Área (%)	48,57	53,36	60,59
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	1.344.326	1.416.198	1.581.937
Área (%)	76,22	80,29	89,69
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	1.436.839	1.497.144	1.694.388
Área (%)	81,46	84,88	96,07

FONTE: A autora

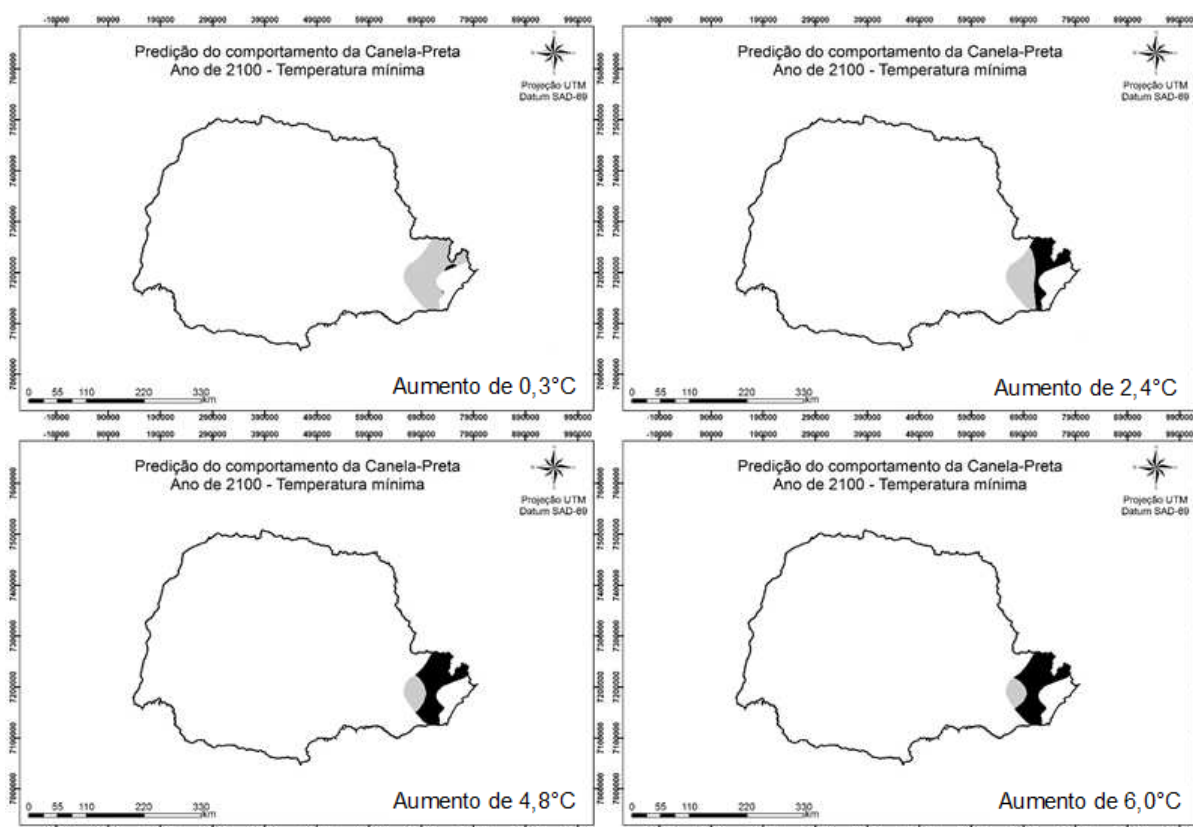
Também classificada como criticamente em perigo neste trabalho, a canela-preta apresentou valores de perda de área geográfica com amplitude que vão de 2% a 96%, em que mesmo nos cenários menos extremos, houveram grandes perdas. Há ainda um adicional de gravidade aos resultados quanto aos efeitos das alterações climáticas sobre a biodiversidade em áreas de região montanhosa, característica dessa espécie, que segundo Carvalho (1994) é ocupante de encostas e topos de morros da Mata Atlântica.

Ainda conforme Carvalho (1994), pela sua importância econômica, essa espécie vem sendo explorada desde 1940. Tarazi et al. (2010) complementam que essa intensiva exploração aliada a expansão da agricultura nas áreas de ocorrência foram responsáveis pela fragmentação florestal e expressivas perdas no número de indivíduos dessa população. Em contraponto, a variedade altimétrica com a qual essa espécie convive, e sua mais ampla distribuição geográfica, para além da Floresta Ombrófila Mista, podem representar um contexto futuro para a canela-preta (CARVALHO, 2003). Outra vantagem adaptativa é descrita por Chung et al. (2000), o qual informa que a família Lauraceae apresenta valorosa relação com distintas espécies da fauna, o que contribui com a polinização.

A mudança de uso da terra conseguiu, conforme (MITTERMEIER et al., 2011), levar a existência de 35 *hostspots* de biodiversidade no mundo. Essas são áreas com grande diversidade e endemismo que perderam mais de 70% de sua

área natural e por isso são prioritárias a conservação. Enfatiza-se o desencadeamento na extinção que o desmatamento é capaz: diretamente, tem forte impacto na redução das espécies, e indiretamente, tem forte impacto no aumento das temperaturas através da relação com o aquecimento global, que por sua vez, é também responsável por perdas de biodiversidade.

É possível visualizar a extensa perda de habitat da canela-preta ocasionada por potenciais aumentos de temperaturas no Paraná (Figuras 52, 53 e 54).



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 52 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea catharinensis* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

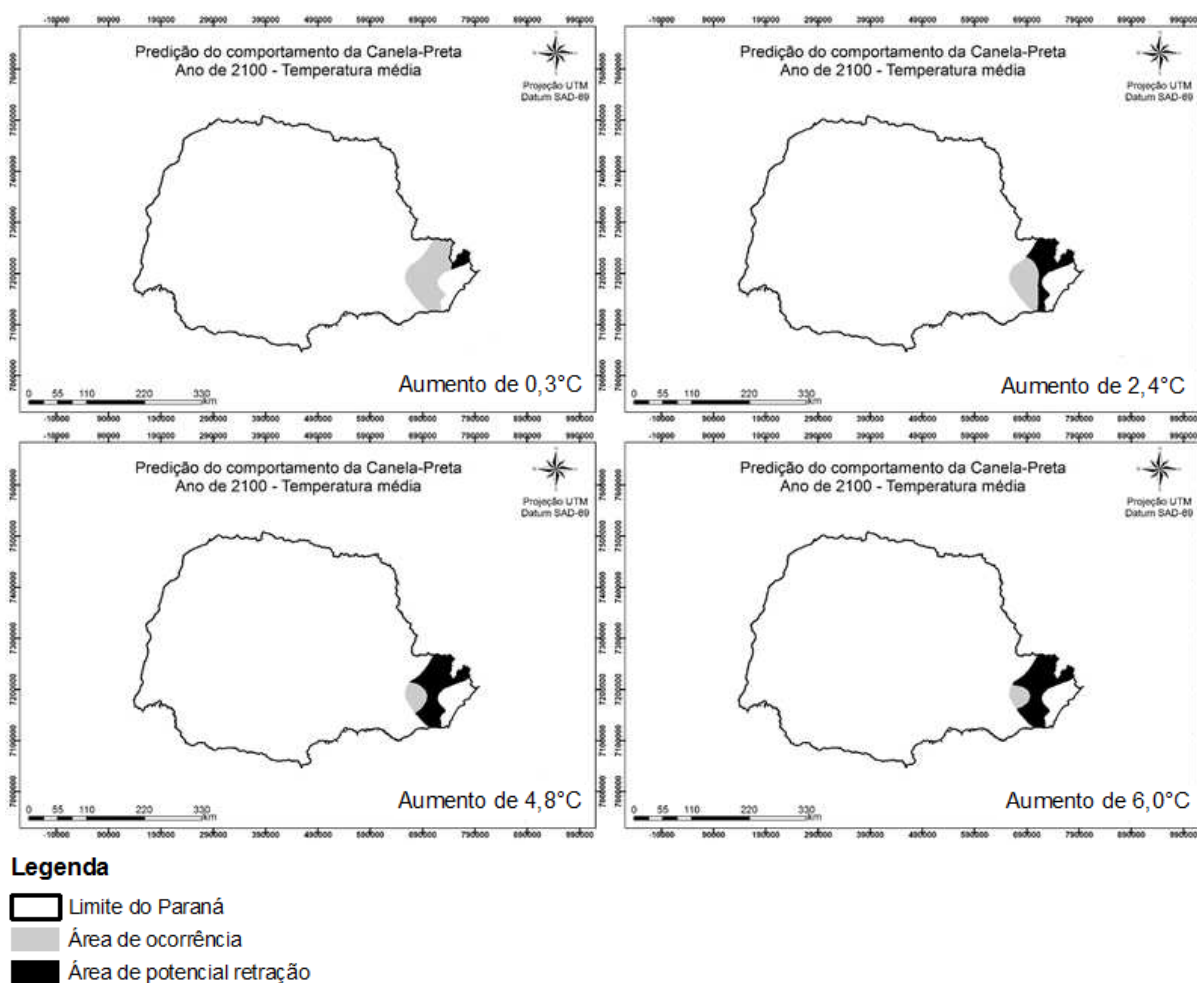
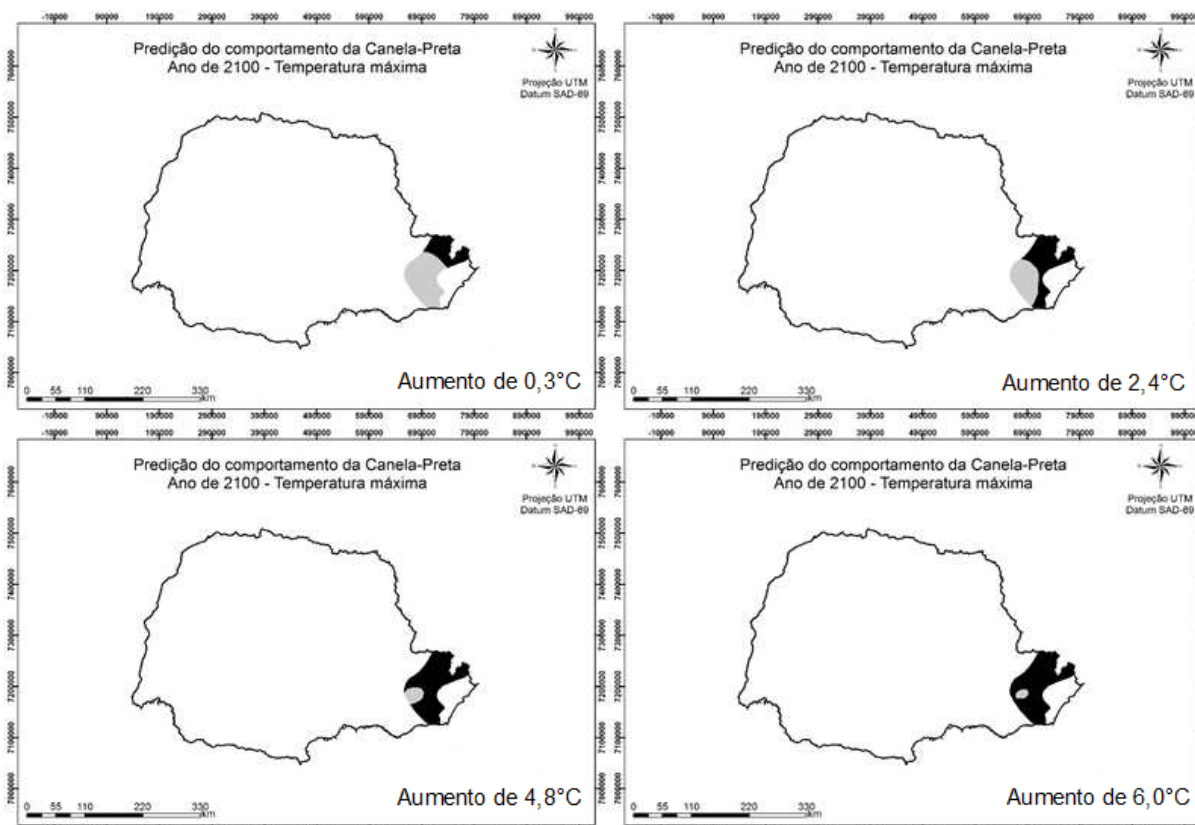


FIGURA 53 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea catharinensis* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 54 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea catharinensis* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

Pimm et al. (2014) estudando a biodiversidade, distribuição, taxas de extinção e proteção dos organismos eucariontes, reportou em uma visão generalizada sobre o assunto, que as mudanças associadas as taxas de extinção de espécies se cumprirão a depender de como e onde as ameaças irão se expandir, e ainda do número de ações de proteção que venham a ser empregadas. Observa-se que essa é uma realidade também aplicada para o estudo de caso deste trabalho, cuja responsabilidade humana em deter a destruição da biodiversidade é um imperativo primordial à resolução dessas questões.

- Canela-sassafrás (*Ocotea odorifera*)

Componente do gênero *Ocotea*, a canela-sassafrás é igualmente explorada pela extração do seu óleo, que é comercializado no mundo inteiro e utilizado em

diversos ramos da indústria (CARMO et al., 2007). A madeira de boa qualidade para uso em construção civil (QUINET et al., 2013) também foi um fator que levou essa espécie a ser ameaçada de extinção. Todavia, a resposta dessa espécie a potenciais aumentos de temperatura na área de ocorrência no Paraná demonstrou uma relativa propriedade de plasticidade, tendo em vista que os aumentos não ocasionaram um crítico perigo em extinção (Figura 55 e Tabela 12).

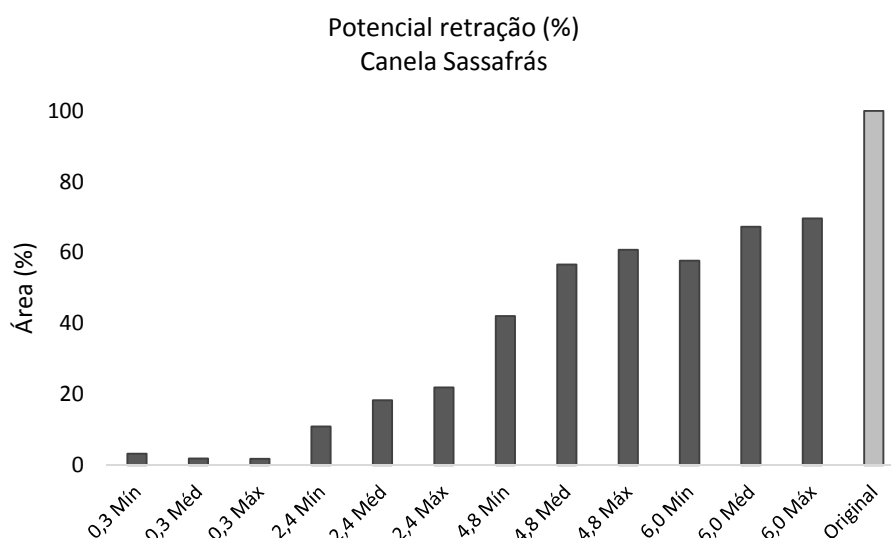


FIGURA 55 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Ocotea odorifera* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima

FONTE: A autora

TABELA 12 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Ocotea odorifera* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

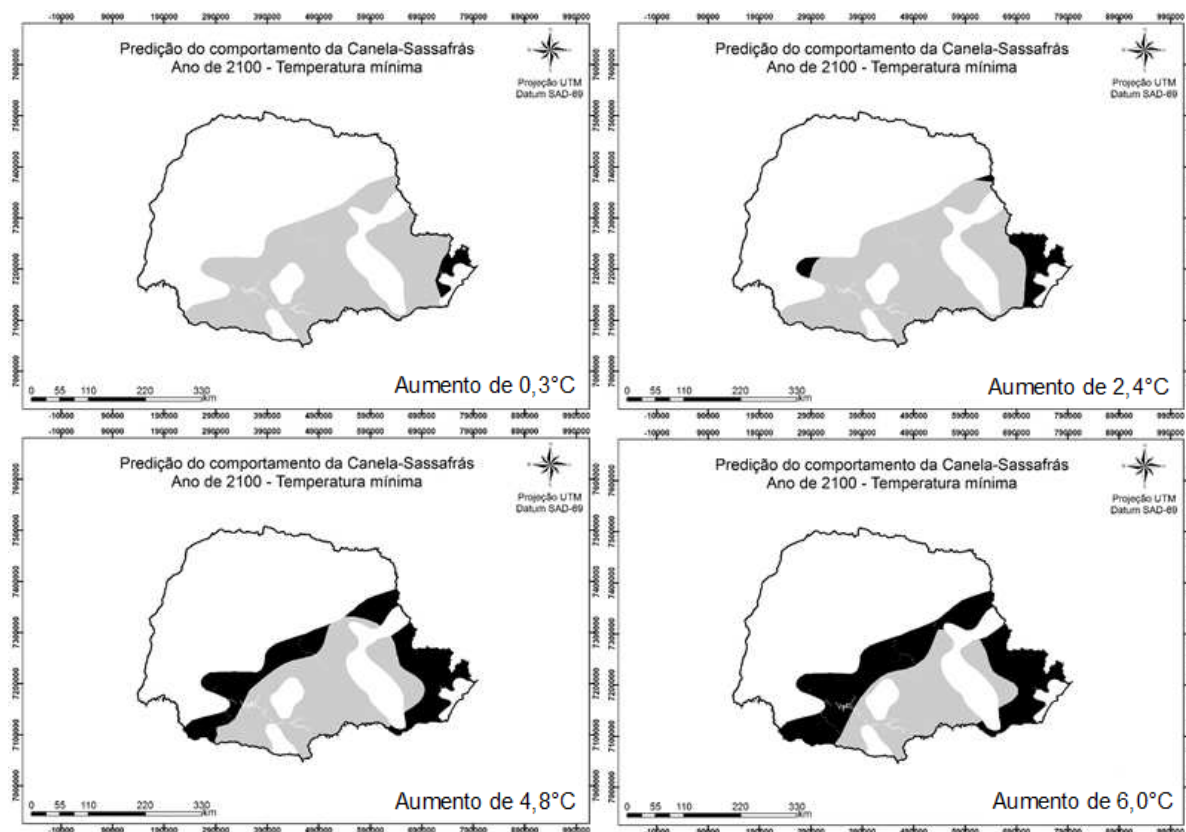
0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	243.543	140.816	137.855
Área (%)	3,2	1,85	1,81
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	829.684	1.396.855	1.670.983
Área (%)	10,91	18,37	21,98
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.198.796	4.304.832	4.621.638
Área (%)	42,08	56,62	60,79
6,0 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	4.386.222	5.117.964	5.292.994
Área (%)	57,69	67,32	69,62

FONTE: A autora

Quando comparada a situação das outras espécies, a canela-sassafrás foi a segunda espécie que melhor respondeu às mudanças do clima. Ainda assim, sua probabilidade de retração geográfica alcançou números grandiosos, com perdas que vão desde 140.000 hectares (2%) a 5 milhões de hectares (70%). Novamente, ressalva-se a importância de relacionar as perdas de área favorável a ocorrência aqui descrita com a situação atual da espécie, que para esse caso, também compõe a lista de espécies ameaçadas de extinção. Moscoso et al. (2013) afirmam que espécies de interesse econômico, como madeiras, são as primeiras a experimentar um decréscimo em seus estoques quando estratégias adequadas de manejo e conservação não são definidas.

Quinet et al. (2013) indica alguns componentes que podem agravar a situação dessa espécie, onde para além da exploração e da perda de 70% de área, há ainda fatores de reprodução e dispersão que complicam a regeneração natural, com a formação irregular de sementes; a dificuldade na germinação entre árvores isoladas; a redução, cada vez mais ampla, de polinizadores; a predação dos frutos e sementes por roedores; e um número cada vez menos de matrizes na floresta devido a persistente exploração madeireira. Em complementaridade, Carvalho (2003) mencionou que a *O. odorifera* é exigente em solos, sendo considerada uma espécie indicadora de alta fertilidade química.

A redução da área do desenvolvimento da *O. odorifera* implicará em demandas e déficits acerca dos impactos sofridos pela comunidade florestal com a perda de seu componente. Esses impactos serão melhor conhecidos a medida que informações sobre a especificidade do funcionamento florestal seja mais bem trabalhada na literatura, tendo em vista que o entendimento das futuras adequações das espécies florestais a sítios específicos é ainda incipiente, o que pode resultar em um aumento ou redução na distribuição atual das espécies. Assim, expõe-se nas Figuras 56, 57 e 58 as consequências climáticas do aquecimento do Paraná para a canela-sassafrás.



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 56 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea odorifera* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

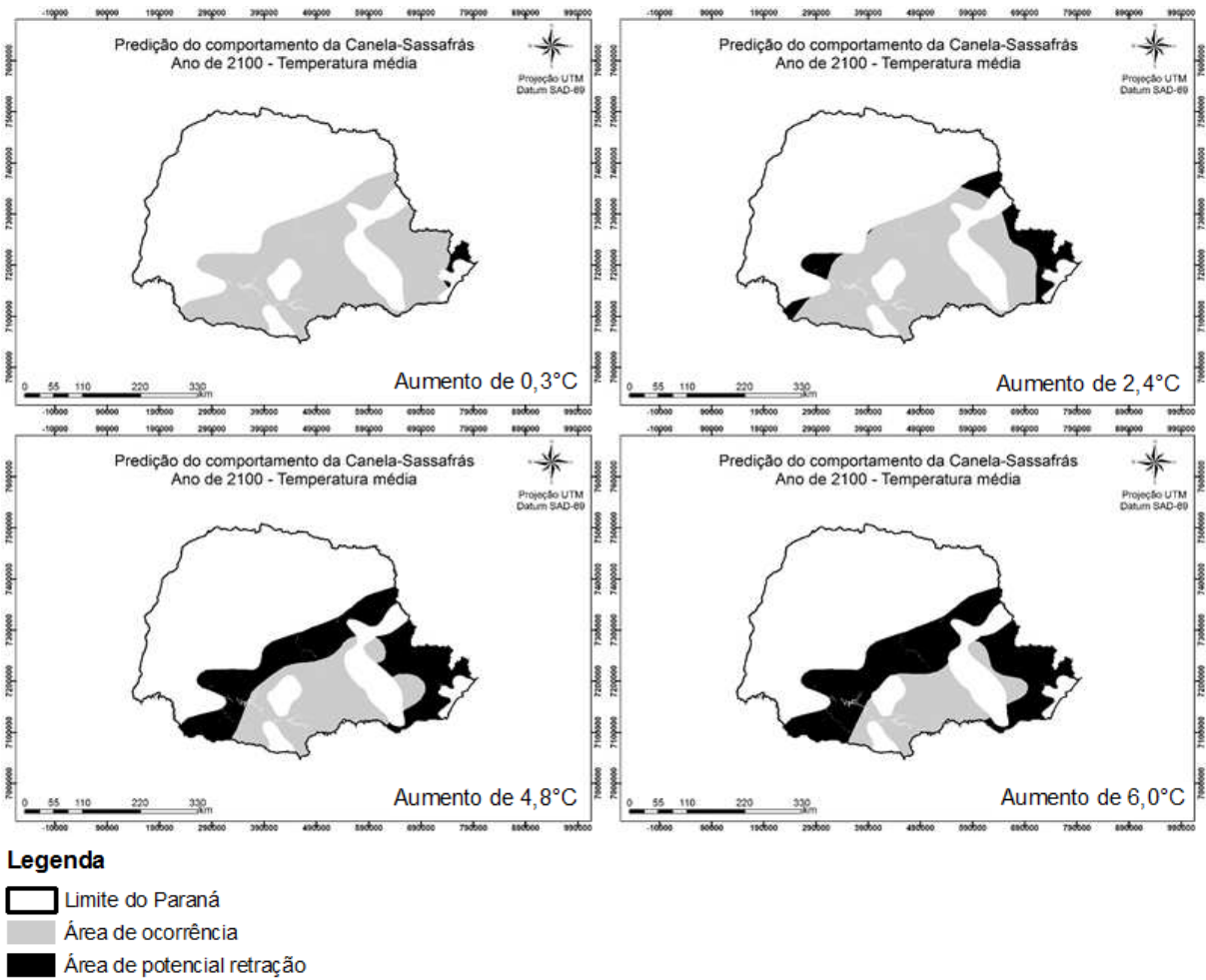
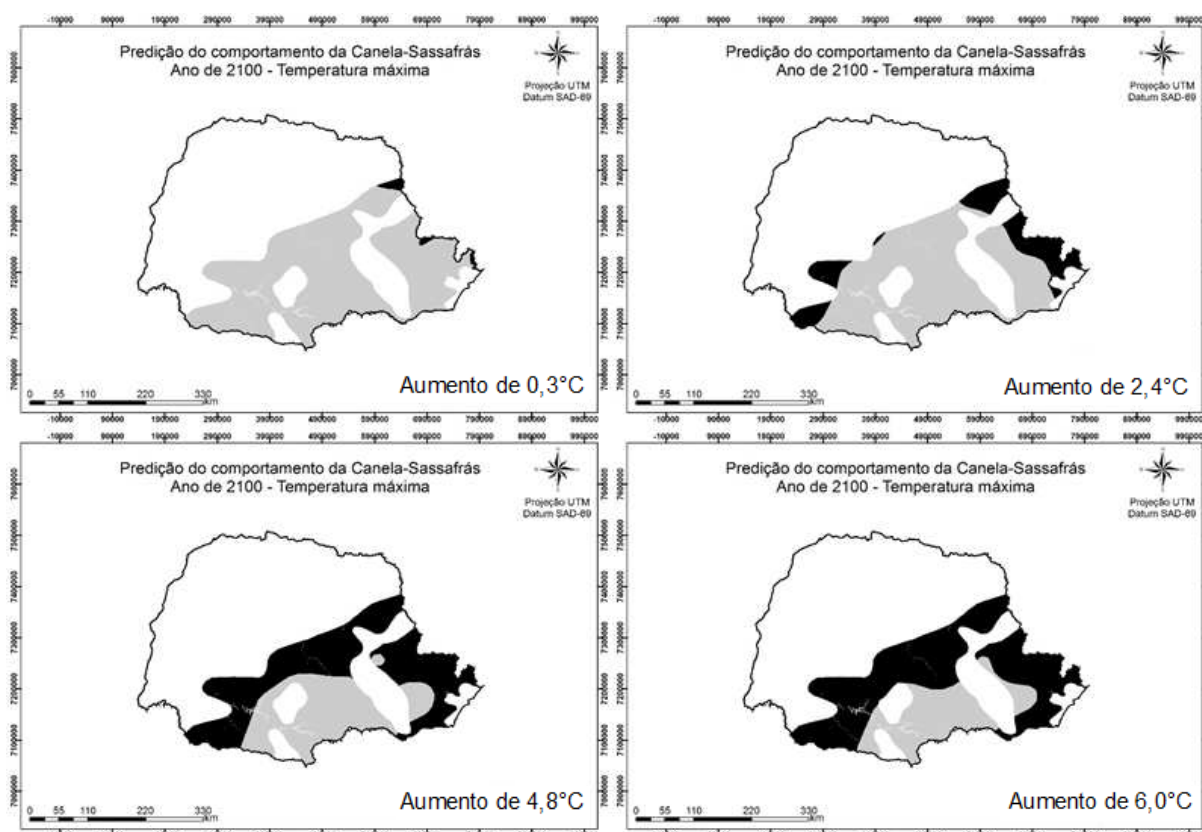


FIGURA 57 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea odorifera* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora





#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 58 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea odorifera* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

Ruiz-Labourdette et al. (2013) projetaram em seu estudo a dispersão das árvores no Mediterrâneo em função do clima temperado ou frio-adaptável das comunidades arbóreas. Nas florestas montanhosas no norte da Europa observa-se limitações sobre o crescimento predominantemente térmicas. As regiões mais altas e médias dessas montanhas são as mais ameaçadas pelas previsões do aquecimento global. Os autores discutem ainda que os planos de manejo e as estratégias de conservação devem ser avaliadas em uma nova abordagem, a qual deve levar em conta que as alterações climáticas são a força motriz da distribuição de espécies. Assim, resultados dessas análises podem ser usados em escala de paisagem para o manejo florestal, e para o desenho de áreas prioritárias a conservação.

- Erva-mate (*Ilex paraguariensis*)

A importância da erva-mate está consolidada nos aspectos socioculturais, econômicos e ecológicos. Segundo Linhares (1969) citado por Pasinato (2002), desde os séculos XV e XVI, em meio a saga exploratória da colonização europeia, já se desenvolvia o uso e mercado do mate. Os paradigmas que rodeiam o desenvolvimento das espécies mudaram desde então, e hoje, grandes desafios como as consequências e efeitos de potenciais alterações do clima, devem ser considerados pelo interesse em sua conservação. Assim, a Figura 59 e a Tabela 13 apresentam as projeções futuras do comportamento dessa espécie.

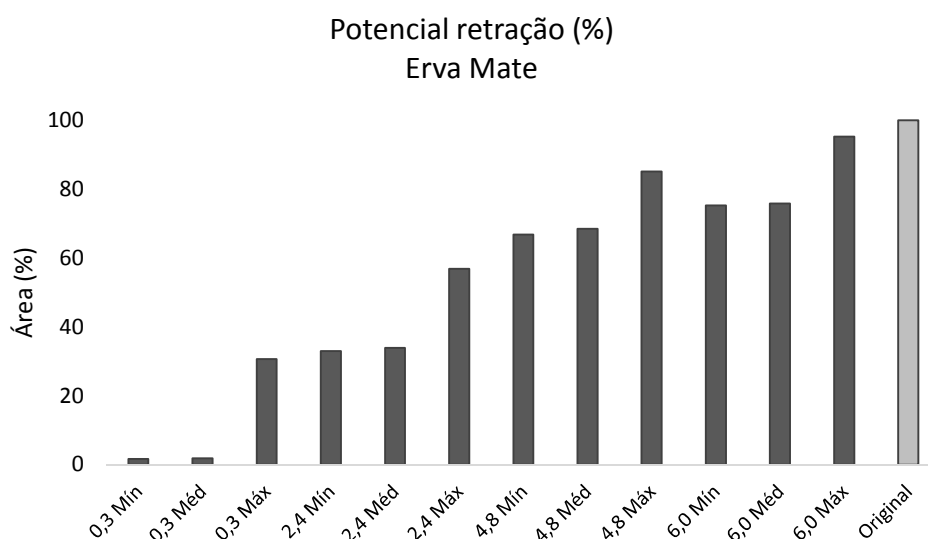


FIGURA 59 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Ilex paraguariensis* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima

FONTE: A autora

TABELA 13 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Ilex paraguariensis* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	175.938	196.706	3.178.389
Área (%)	1,7	1,9	30,68
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.419.006	3.516.749	5.889.709
Área (%)	33	33,95	56,85
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	6.923.379	7.097.273	8.814.720
Área (%)	66,83	68,51	85,09
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	7.797.147	7.861.426	9.867.164
Área (%)	75,26	75,88	95,25

FONTE: A autora

Com projeções de retração geográfica representada por grandes reduções, a erva-mate está classificada como criticamente em perigo. Os aumentos na temperatura máxima são extremamente limitantes à ocorrência dessa espécie, e para essa variante, mesmo nos cenários mais conservacionistas as perdas serão de mais de 3 milhões de hectares, o que corresponde a 31% da sua área de ocorrência natural, chegando a 8 milhões de hectares (85%). Para um potencial aumento de temperatura de 6°C, essa espécie chega a perder quase 10 milhões de hectares de área favorável a sua ocorrência, dado por um percentual de 95% de retração.

Pelo interesse em conservar essa espécie, estima-se que o desenvolvimento de projetos de manejo venha a ser mais expressivos quando comparados a outras espécies de menor importância econômica. Conforme corrobora Moraes e Martinelli (2013), no Brasil, os processos de avaliação do risco de extinção de espécies sempre estiveram vinculados às questões econômicas de utilização destas, o que torna essas avaliações condicionadas a espécies que afetariam a economia nacional ou representariam uma barreira para o licenciamento ambiental de empreendimentos.

A postulada realidade implica que embora possam ser definidas metas e estratégias de ampliação dos plantios e cultivos para garantir a regulação da produção do mate, as formações naturais, sempre em associações claramente evoluídas com a *A. angustifolia* (CARVALHO, 2003), podem estar gravemente

comprometidas caso não seja dada a atenção devida às projeções que demonstram a imensa vulnerabilidade das duas espécies em questão.

Myers et al. (2000) descrevem que o número de espécies ameaçadas de extinção supera em muito o uso sustentável dos recursos disponíveis, e que com o advento das mudanças climáticas, a situação parece tornar-se rapidamente mais grave. No entanto, alguns aspectos da ecologia da erva-mate podem torná-la resistente a muitos processos de alterações climáticas, como sua adaptação e sobrevivência em solos pobres (CARVALHO, 2003); resistente em condições de céu aberto, em formações nativas ou cultivadas (ANUÁRIO BRASILEIRO DA ERVA-MATE, 1999); não temem geadas (COSTA, 1995) e tem boa relação com outras espécies, representada como o principal componente de Sistemas Agroflorestais mais antigos da Região Sul do Brasil (ALEGRE et al., 2007).

Os mapas resultantes das projeções de retração geográfica dessa espécie demonstram sua principal fraqueza: o clima (Figuras 60, 61 e 62). O desenvolvimento dessa espécie é limitado por fatores climáticos de temperatura e precipitação muito específicos, conforme afirma Carvalho (2003) e corroborado nesse trabalho.

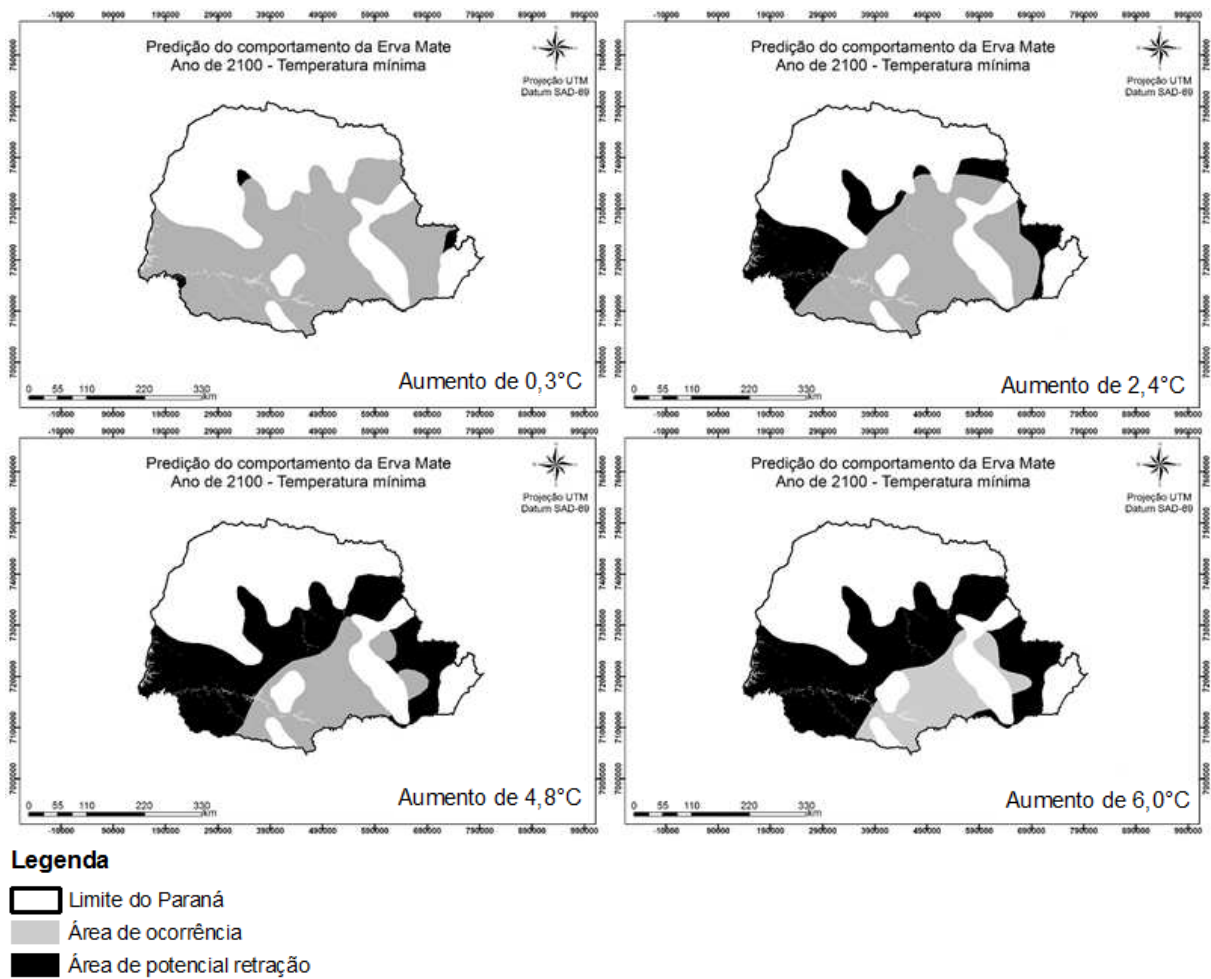
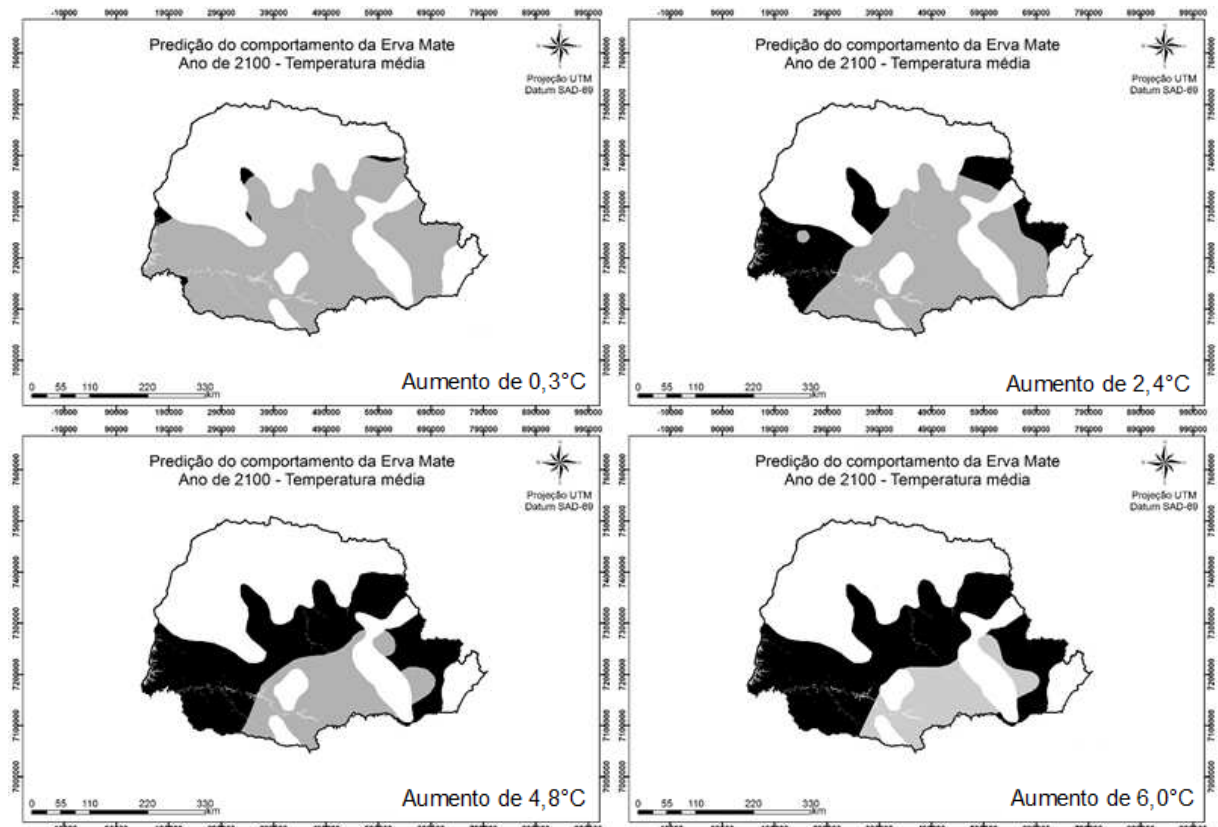


FIGURA 60 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ilex paraguariensis* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 61 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ilex paraguariensis* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)

FONTE: A autora

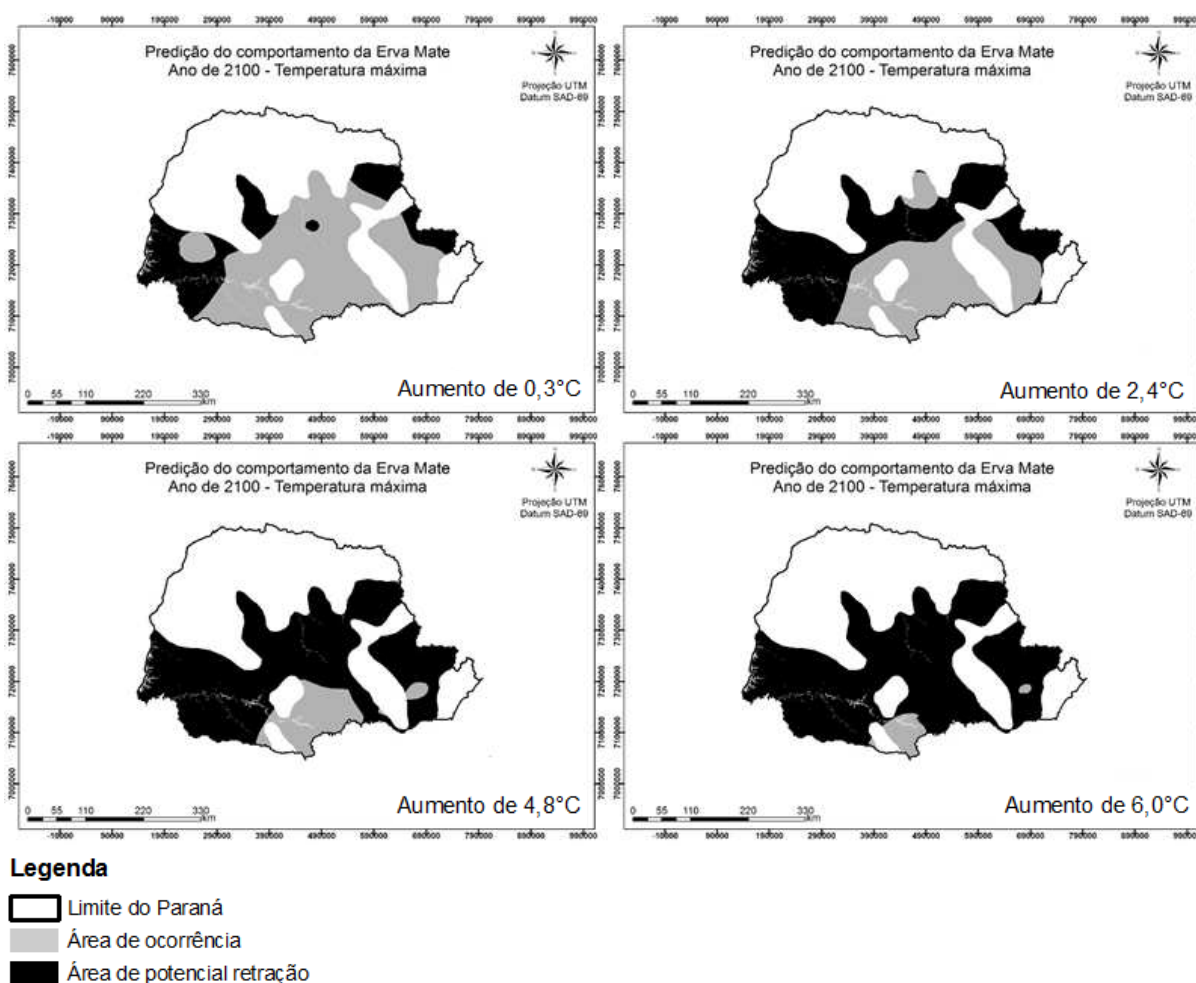


FIGURA 62 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ilex paraguariensis* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO)  
FONTE: A autora

Com o objetivo de avaliar a distribuição de 845 espécies de plantas na Alemanha, Pompe et al. (2008) delimitaram três diferentes modelos em três cenários distintos de mudanças climáticas e uso da terra para 2080. As projeções sugeriram grandes efeitos sobre as próximas décadas, com graves consequências para a flora alemã. Mesmo em um cenário moderado (aumento de 2,30°C), de 15-19% das espécies estudadas podem perder toda sua ocorrência local. Os autores concluíram que espécies com faixas menores de distribuição serão as mais vulneráveis as mudanças climáticas futuras e outros estresses ecológicos. Essa proposição relaciona-se com a *I. paraguariensis*, tendo em vista que essa espécie tem ocorrência quase que restrita no Sul do Brasil, o que representa mais um fator agravante às circunstâncias da mesma.

- Imbuia (*Ocotea porosa*)

Igualmente explorada pela alta qualidade e valor comercial de sua madeira, a imbuia tem importante participação na Floresta Ombrófila Mista, apresentando grandes valores de incremento, tanto em diâmetro quanto em área basal, demonstrado por uma dominância expressiva nesse tipo florestal (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010) e por um alto índice de valor de importância (WATZLAWICK et al., 2005). As previsões que informam acerca da capacidade dessa espécie em responder às mudanças climáticas no Paraná demonstraram diferenças em relação as outras espécies, conforme a Figura 63 e Tabela 14.

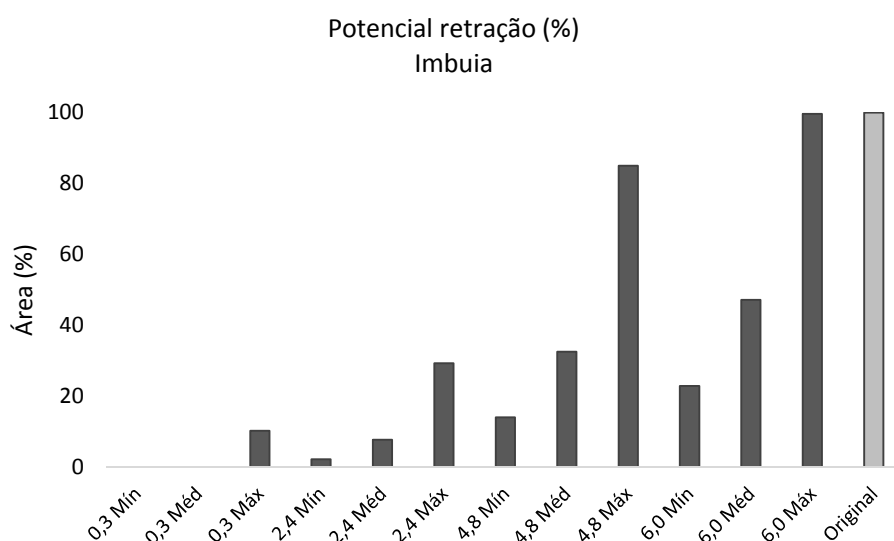


FIGURA 63 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Ocotea porosa* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima  
FONTE: A autora



TABELA 14 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Ocotea porosa* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	0	0	478.375
Área (%)	0	0	10,26
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	100.926	360.422	1.366.290
Área (%)	2,16	7,73	29,3
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	654.305	1.516.274	3.966.681
Área (%)	14,03	32,51	85,05
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	1.065.440	2.201.334	4.649.626
Área (%)	22,85	47,2	100

FONTE: A autora

No cenário mais conservacionista (aumento de 0,3°C) a imbuia manteve uma estabilidade quando os aumentos avaliados se deram nas temperaturas mínimas e médias, sendo a única espécie dentre as analisadas que apresentou zero de potencial retração em algum dos panoramas cenário x temperatura. No entanto, essa tendência em resistir as mudanças do clima não se manteve enquanto padrão, demonstrada pela projeção de extinção no cenário extremo (aumento de 6,0°C). Nos cenários moderados, as perdas variaram de 30 a 85%, representando grave ameaça a essa espécie que já encontra-se na lista oficial de espécies da flora ameaçada de extinção.

A redução da área propícia ao desenvolvimento da imbuia insere-se em um contexto preocupante dentro da observação feita por Wesche et al. (2006), o qual afirma que a ocupação de habitats adequados por indivíduos arbóreos com baixas taxas de migração podem ficar muito aquém das elevadas previsões de alterações climáticas. Não obstante, a reprodução e regeneração da espécie é também considerada difícil e lenta (QUINET et al., 2013).

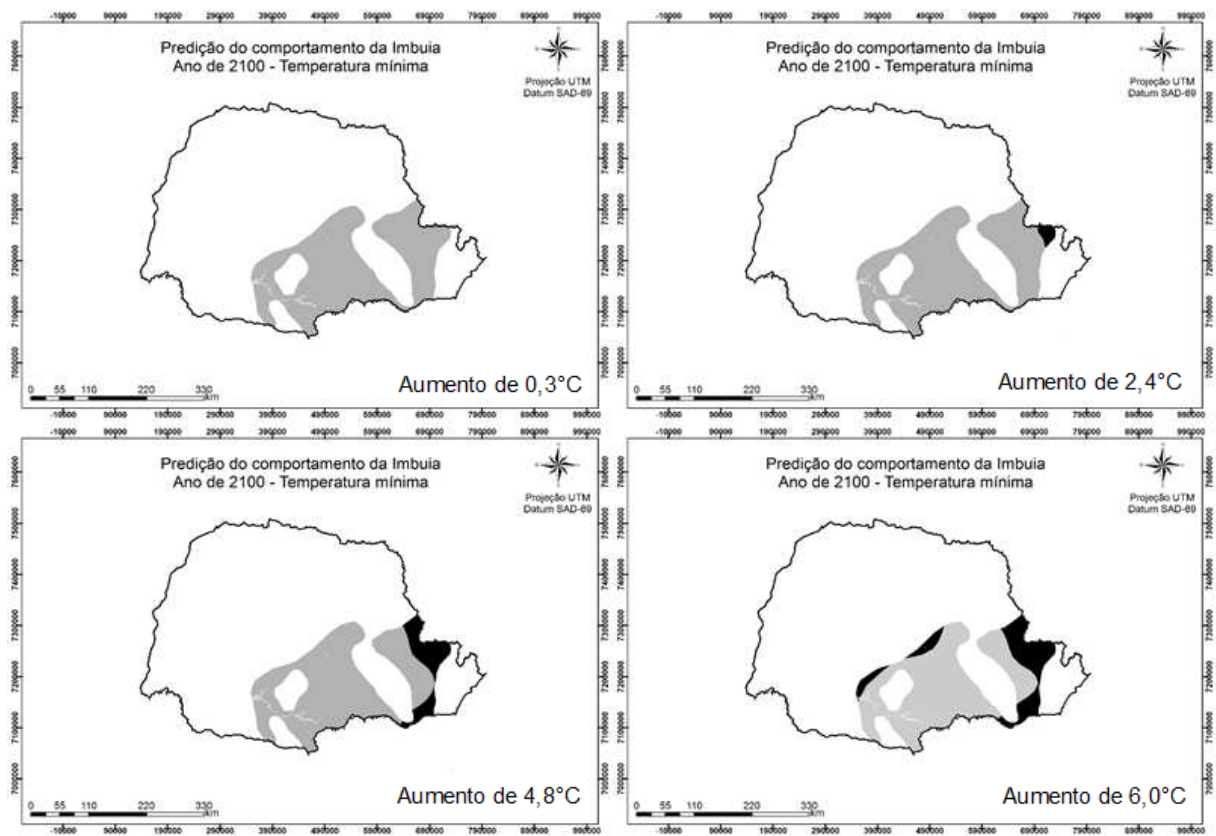
Os aspectos limitantes à sobrevivência da imbuia e a carência de informações acerca de suas estratégias adaptativas ocasionam uma conjuntura problemática no âmbito das mudanças do clima, tendo em vista que muitas espécies já têm sua área habitável reduzida em função das recentes alterações climáticas, e para aquelas que

não desenvolveram a habilidade de expandir-se para além das barreiras geográficas e climáticas, o risco de extinção futura é cada vez mais certo (PARMESAN, 2006).

Não há dúvida que o clima é o clima desempenha um papel importante na limitação das faixas das espécies terrestres (PARMESAN et al., 2005). Estudos recentes de biogeografia em sistemas marinhos têm demonstrado que a temperatura é condutor principal na delimitação das espécies (HOEGH-GULDBERG e BRUNO, 2010), porém processos evolucionários podem influenciar substancialmente os padrões e taxas de resposta às mudanças climáticas, podendo também, alterar o comportamento das espécies na ausência de alterações ambientais.

Essas proposições apresentadas levam a concluir acerca da extrema urgência que existe no desenvolvimento de estudos que visem garantir a manutenção da diversidade genética, conhecer o potencial de longevidade das árvores, mapear seu histórico de estratégia adaptativa, desenvolver melhoramento genético, entre outros, sempre buscando a manutenção da resiliência do ecossistema.

As Figuras 64, 65 e 66 revelam o aumento progressivo das perdas de área da *O. porosa* em função dos aumentos de temperatura. Em reconhecimento ao importante papel da imbuia na comunidade da Floresta Ombrófila Mista, estima-se que os impactos negativos oriundos da extinção dessa espécie têm espaço na estrutura, dinâmica, relações interespecíficas, interações biológicas, além do contexto econômico.

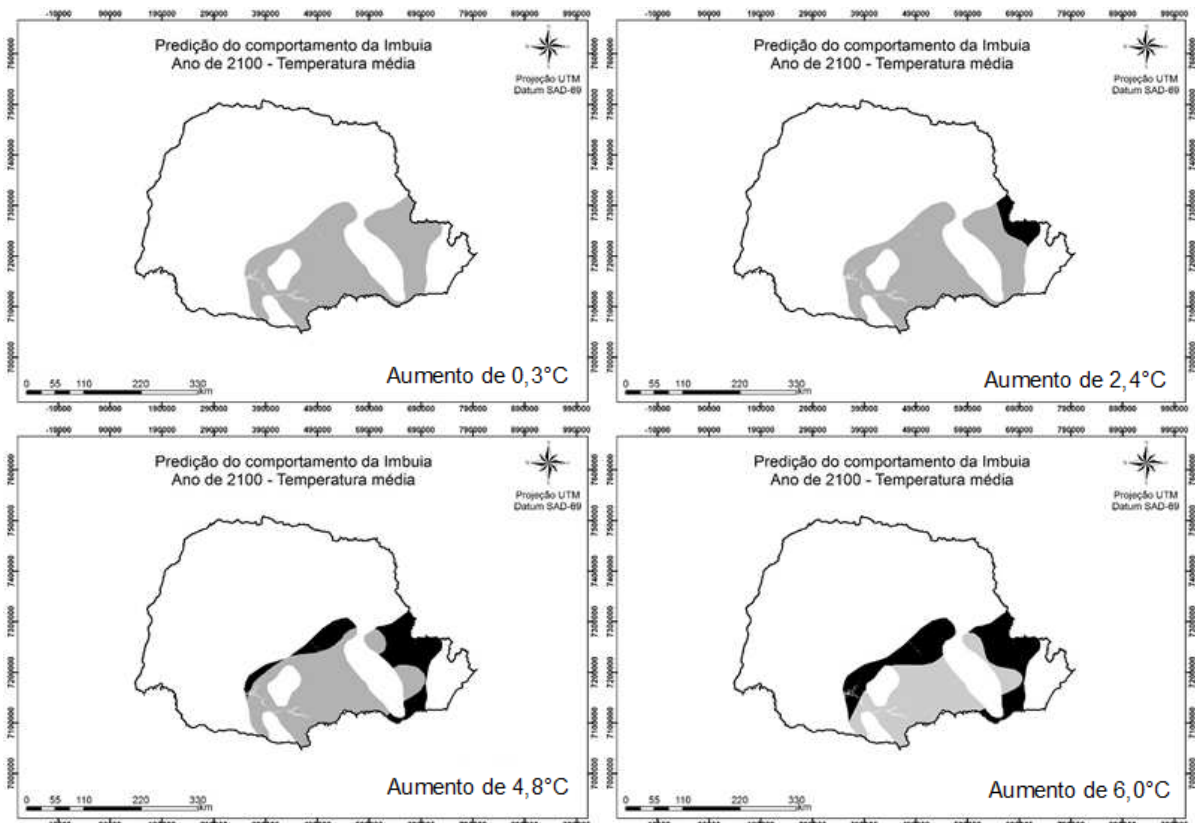


#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 64 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea porosa* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

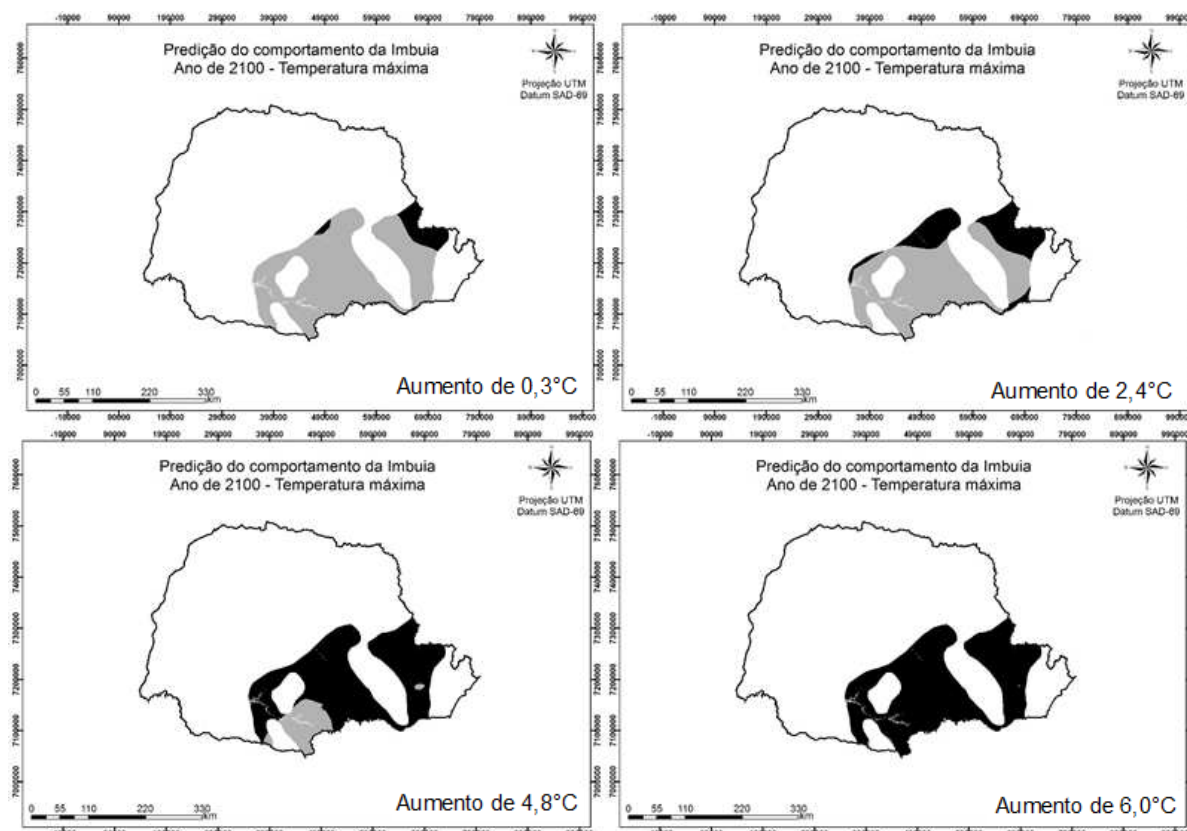


#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 65 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea porosa* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 66 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Ocotea porosa* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

Iverson et al. (2008) modelaram e mapearam 134 espécies dos Estados Unidos para conhecer sua potencial resposta diante de vários cenários de mudanças climáticas, entre pessimistas e otimistas. Cada espécie foi modelada individualmente. Do conjunto de espécies avaliadas, 66 ganharão área de ocorrência e 54 perderão área favorável à sua ocorrência. Em ambos os casos, os resultados demonstraram que as espécies serão bem menos pressionadas a se moverem de seus habitats naturais já favoráveis quando menor for as emissões de gases de efeito estufa, e com isso, reduzidas as alterações climáticas. De modo semelhante, impedir o adicional das mudanças climáticas enquanto elemento de risco para a Imbuia constitui um esforço à sua manutenção.

- Ipê-amarelo (*Handroanthus albus*)

Amplamente difundida na arborização urbana de diversas cidades pela sua propriedade ornamental, o ipê-amarelo tem diversas estratégias que a permite ser encontrada nos mais distintos ambientes e regiões fitogeográficas. Essa multiplicidade inerente à essa espécie é possivelmente a justificativa para os resultados observados quanto as mudanças climáticas, os quais demonstraram a resiliência da mesma em responder ao aquecimento do Paraná (Figura 67, Tabela 15).

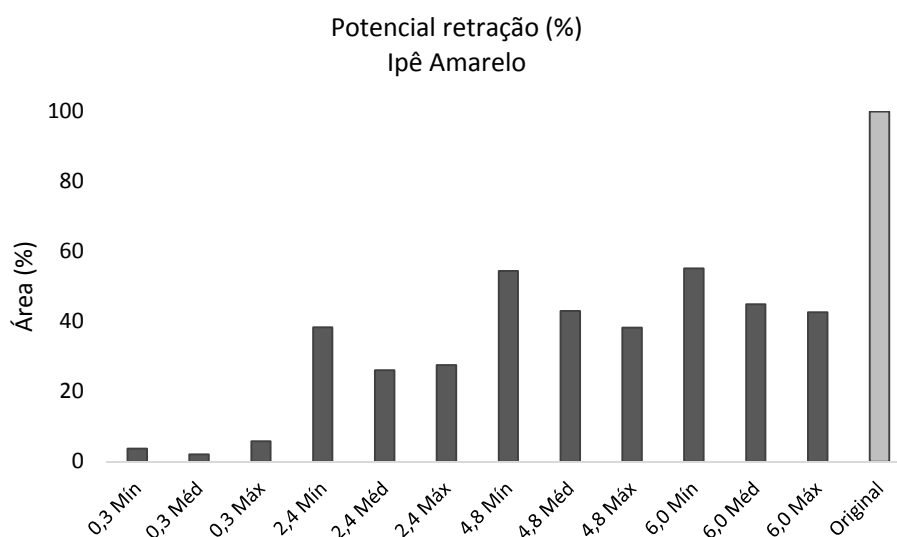


FIGURA 67 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Handroanthus albus* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima  
FONTE: A autora

TABELA 15 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Handroanthus albus* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	211.959	117.014	329.396
Área (%)	3,75	2,07	5,83
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	2.168.515	1.473.539	1.559.219
Área (%)	38,41	26,1	27,62
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.073.003	2.430.515	2.163.453
Área (%)	54,43	43,05	38,32
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.114.377	2.540.104	2.411.776
Área (%)	55,16	44,99	42,72

FONTE: A autora

Observa-se nos números apresentados a maior suscetibilidade para temperaturas mínimas, demonstrada pelas maiores taxas de retração. Quando comparada à realidade crítica das outras espécies, o ipê foi o que melhor respondeu as possíveis alterações do clima, perdendo no máximo 55% de seu habitat natural na FOM, dado por cerca de 3 milhões de hectares, no cenário mais extremo. Nos cenários positivos e intermediários, essa perda variou de 120 mil hectares (2%) até 2.400 milhões (43%).

Apesar da plasticidade observada, Lorenzi (2000) afirma que embora essa espécie esteja presente em diversas regiões do país, a existência dela em seu habitat natural nos dias atuais é rara. Corroborando com essa proposição Corte et al. (2013), que objetivou conhecer os processos de amostragem para indicar as melhores combinações da representação da riqueza e diversidade de uma área de Floresta Ombrófila Mista. Os autores observaram que o *Handroanthus albus* não foram amostradas em nenhum dos tratamentos adotados, com exceção do censo florestal, no qual apenas 1 indivíduo foi observado, podendo sugerir que são raras ou inexistentes.

Isso implica que o desenvolvimento do ipê-amarelo parece estar restrito aos plantios, o que representa uma conexão direta com os interesses da sociedade, no entanto, a continuidade dessa espécie nas florestas nativas, e em respectivo, os diversos serviços ambientais prestados e relações ecológicas existentes configura

um processo a ser melhor investigado e considerado no âmbito das mudanças do clima.

Algumas características evolutivas colocam o ipê-amarelo em situação de vantagem para sobreviver às mudanças do clima, como seu aspecto de pioneira, usada em reflorestamento para projetos de recuperação de áreas degradadas e também em fins comerciais, assim como sua germinação, que possui altas taxas e é de grande facilidade (LORENZI, 2000). Porém, comunidades muito fragmentadas, cuja composição é utilizada de forma intensiva, representa dificuldade para migrações de espécies e fluxo gênico entre a população (HONNAY et al., 2002). A consequência disso é que em caso de eventos extremos, cujos aumentos de frequência, intensidade e duração estão previstos nas mudanças climáticas, as transformações nas distribuições das espécies serão mais acentuadas (ARCHAUX e WOLTERS, 2006).

Diante da discussão acerca das vantagens e desvantagens que o ipê-amarelo demonstra frente as potenciais alterações climáticas, apresenta-se nas Figuras 68, 69 e 70 as projeções realizadas para o comportamento dessa espécie em cenários de aquecimento do Paraná.



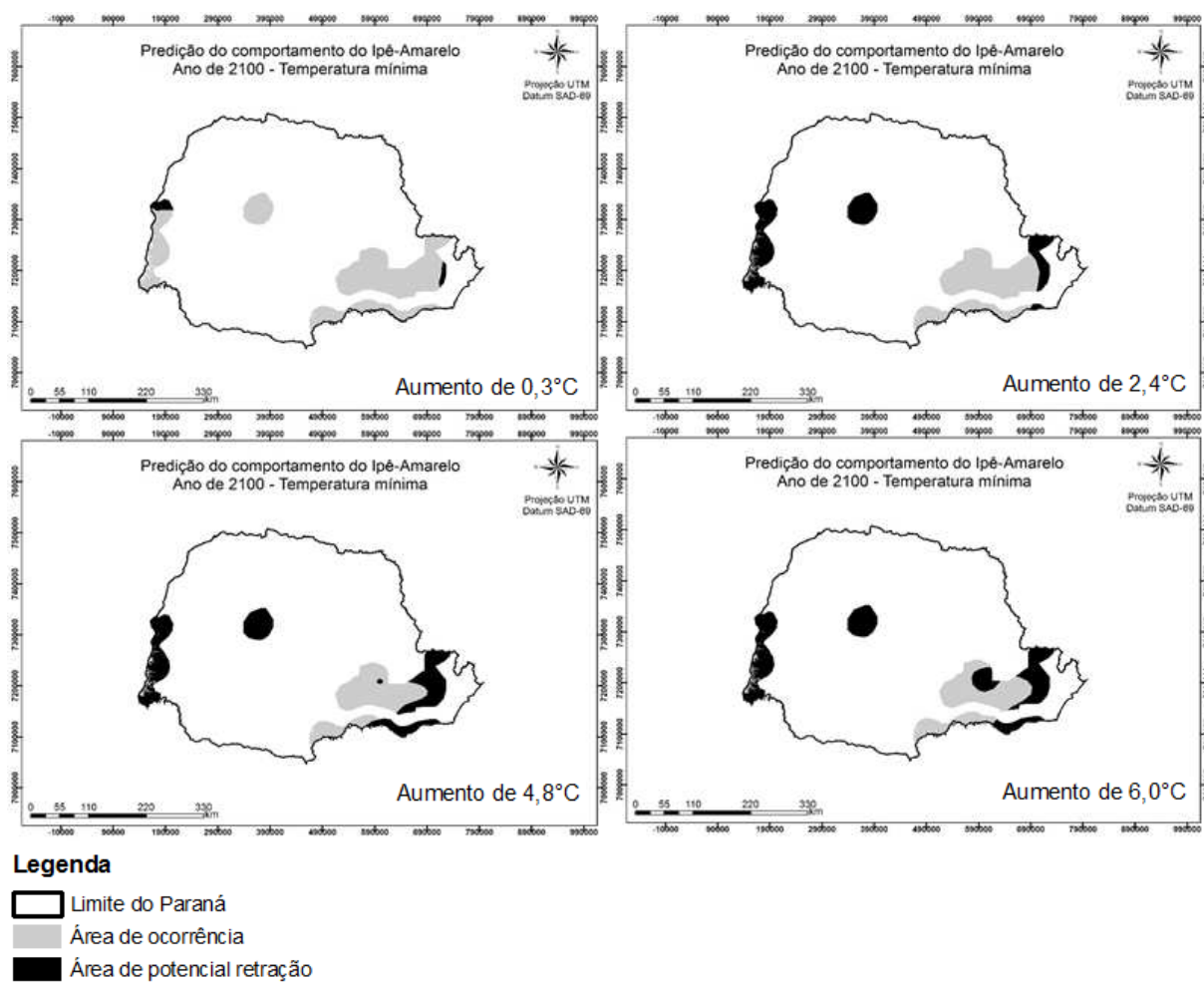


FIGURA 68 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Handroanthus albus* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

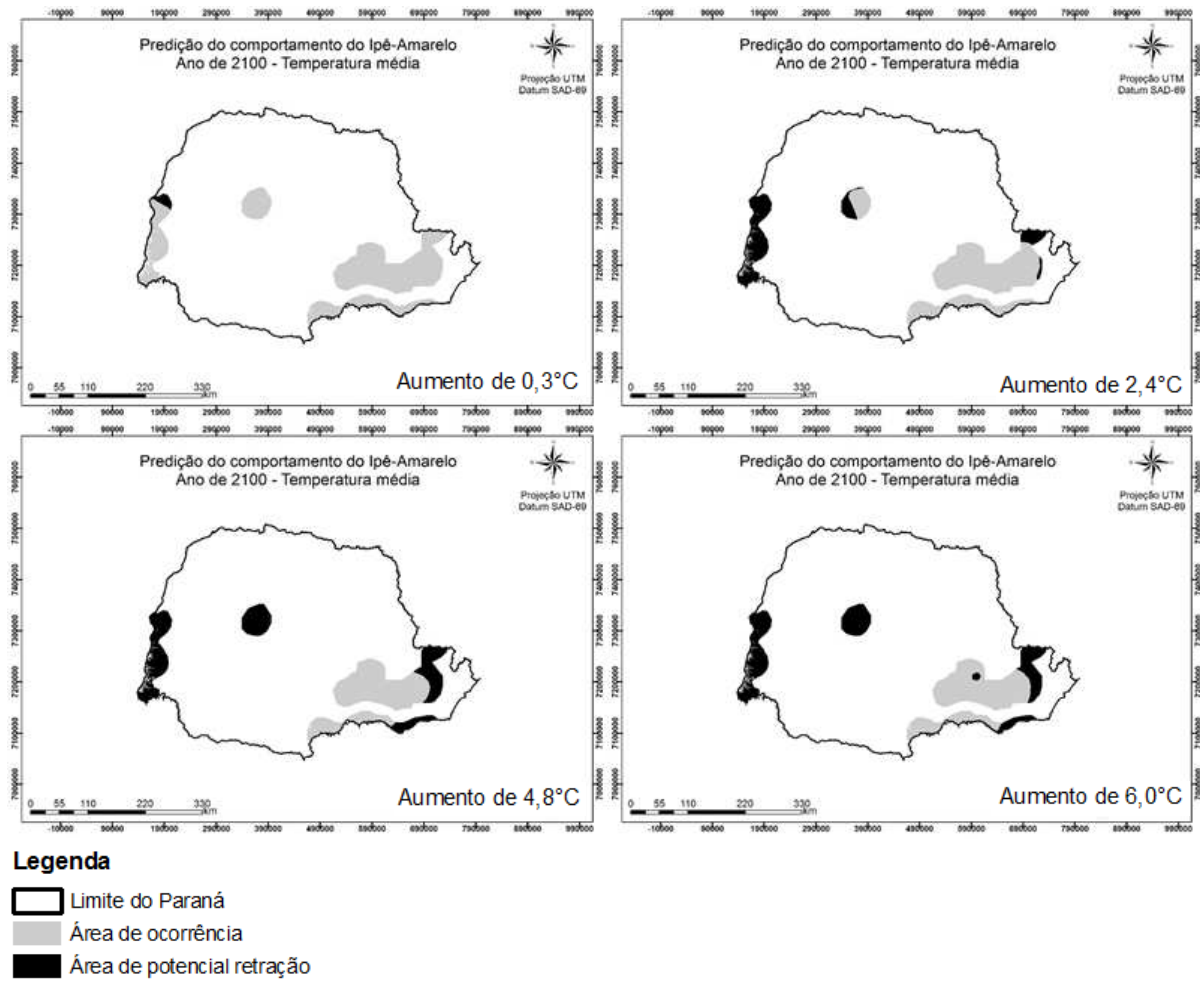
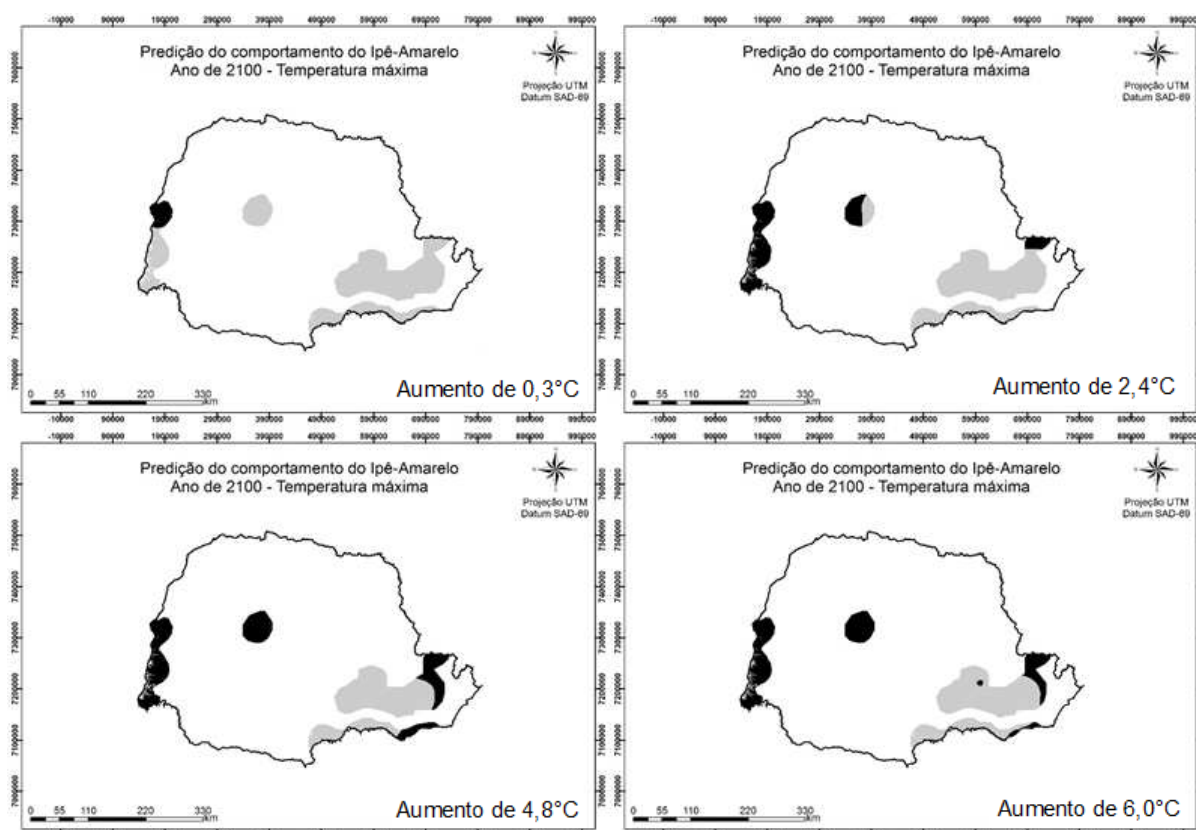


FIGURA 69 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Handroanthus albus* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 70 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Handroanthus albus* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

O melhor comportamento do *H. albus* demonstrado nos mapas acima não exclui a preocupação associada as mudanças climáticas. Conforme Carnaval et al. (2009) demonstrou por meio de modelos de nicho ecológico sob análises paleoclimáticas, e simultaneamente análise Bayesianas sobre dados moleculares de espécies, a Mata Atlântica do Sul é climaticamente instável em relação a região central, que serviu como refúgio para as espécies neotropicais no final do Pleistoceno. Assim, a avaliação da potencial ocorrência do ipê-amarelo na FOM não deve desconsiderar os muitos fatores que podem alterar a condição dessa espécie, afinal, ainda conforme os autores citados acima, os dados de distribuição da biodiversidade nos *hotspots* são demasiadamente escassos para planos eficazes de conservação em face das rápidas mudanças ambientais.

- Pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii*)

A associação entre o *Podocarpus lambertii* e a *Araucaria angustifolia* é uma excelente representação da paisagem da Floresta Ombrófila Mista (SEIBERT et al., 1975<sup>4</sup> citado por BERTOLDO et al., 2014). É, portanto, uma espécie de importante expressão nesse tipo florestal, tendo em vista seus multiprodutos e serviços ambientais descritos na literatura (CARVALHO, 2004). Algumas particularidades que ilustram a aptidão dessa espécie em se desenvolver em ambientes com características específicas são igualmente descritas na literatura (LONGHI et al., 2009) e denotam uma gravidade maior às projeções já preocupantes acerca das tendências de retração geográfica dessa espécie (Figura 71 e Tabela 16).

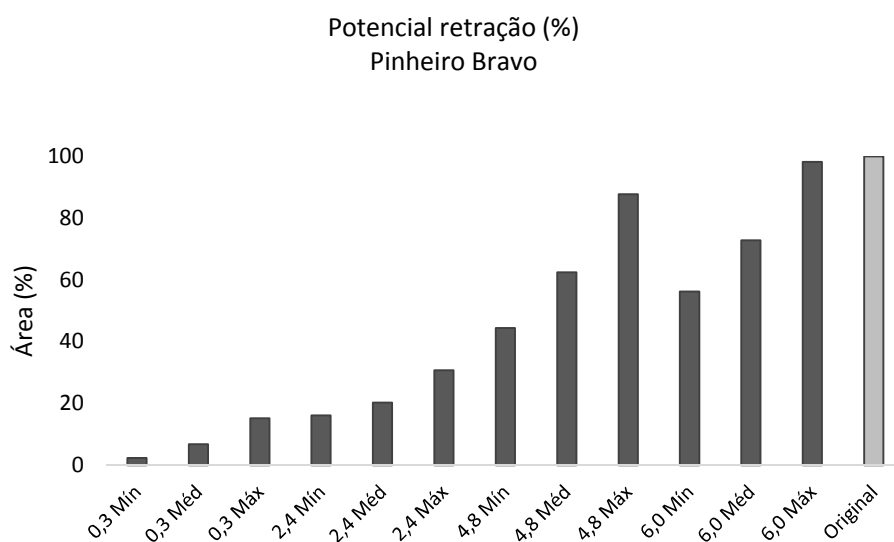


FIGURA 71 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Podocarpus lambertii* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima

FONTE: A autora

TABELA 16 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Podocarpus lambertii* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	128.730	374.710	837.096
Área (%)	2,34	6,81	15,22
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	889.583	1.114.635	1.692.547
Área (%)	16,17	20,26	30,77
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	2.446.138	3.434.957	4.827.432
Área (%)	44,47	62,45	87,76
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	3.092.098	4.004.882	5.406.097
Área (%)	56,21	72,81	98,28

FONTE: A autora

É perceptível nessa avaliação as perdas progressivas correspondentes aos aumentos crescentes. Nos melhores cenários, as taxas de redução de área favorável ao desenvolvimento da espécie variam de 2% (aproximadamente 130 mil hectares) a 31% (aproximadamente 1.700 milhões de hectares). Já nos cenários mais pessimistas, essas taxas variaram de 44% (cerca de 2.500 milhões de hectares) a 98% (5.400 milhões de hectares), com expressão negativa à continuidade do pinheiro-bravo.

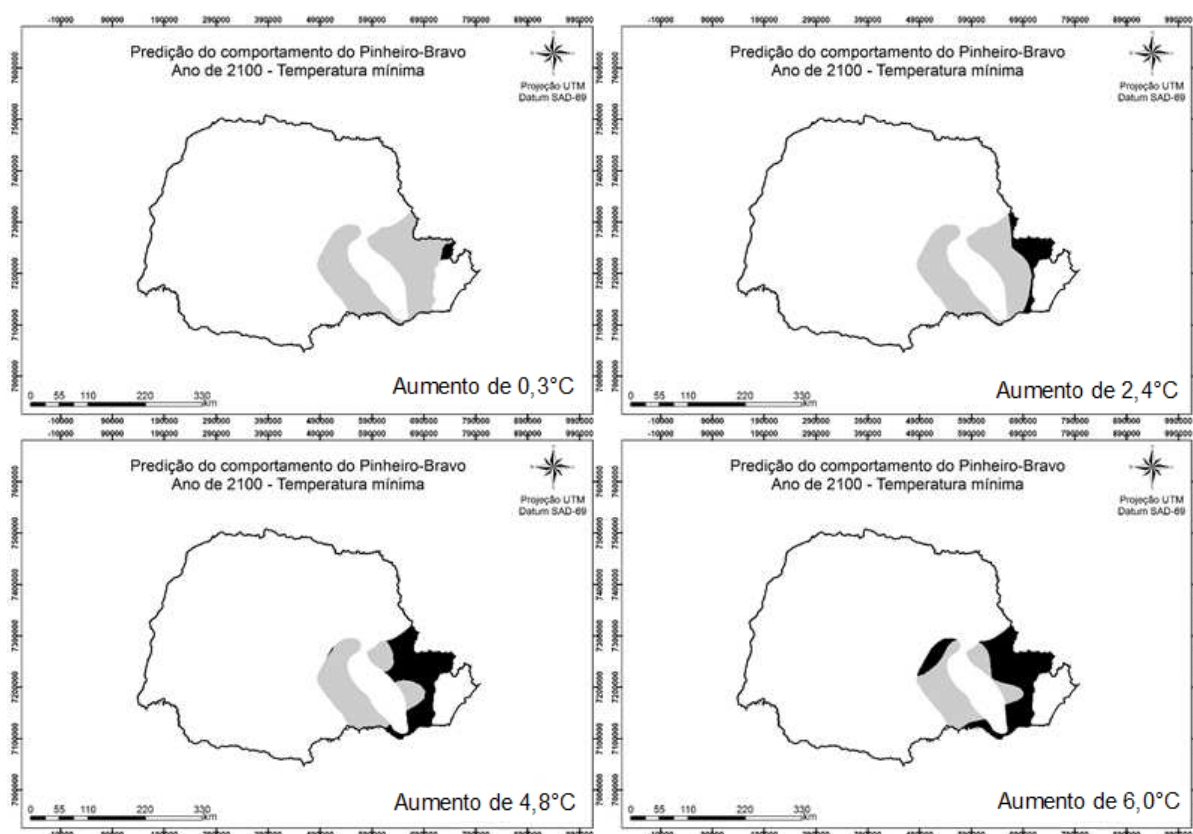
Alguns aspectos positivos de resistência do pinheiro-bravo foram observados no estudo de Maranhão et al. (2006), em que foi descrito uma reação desses indivíduos quando expostos à poluição por um derramamento de petróleo. A superfície foliar foi menor, a densidade estomática e espessura dos tecidos foliares foram maiores, o que indica uma adaptação, ou seja, houve uma resposta ao estresse hídrico e tentativa de potencializar a fotossíntese por unidade de área foliar. Em complemento, Milani (2010) a descreveu como uma espécie bastante resistente.

Essas características de respostas podem ser particularmente interessantes tendo em vista que na maioria dos artigos que trabalham o estudo dos impactos das mudanças climáticas nas espécies, é sempre ressaltado os efeitos da ocorrência de eventos extremos, os quais tem importante influência nos ecossistemas florestais,

especialmente se os distúrbios atuarem em conjunto ou em estreita sucessão (LINDNER et al., 2010).

Ainda conforme Ragagnin et al. (1994), algumas espécies nativas tendem a desaparecer, dentre outras questões, em virtude da carência de informações silviculturais que permitam sua cultura. A restrita distribuição natural é outro limitante, a qual precisa ser preservada e propagada. Para os referidos autores, o pinheiro-bravo compõe essa conjuntura de espécies que embora possua alto valor comercial e seja indicada para reflorestamento, permanece praticamente desconhecida. Atualmente, esse cenário não é muito diferente, pois ainda não existem muitos estudos visando contemplar as muitas áreas do conhecimento dessa espécie que permitem traçar planos de manejo e conservação.

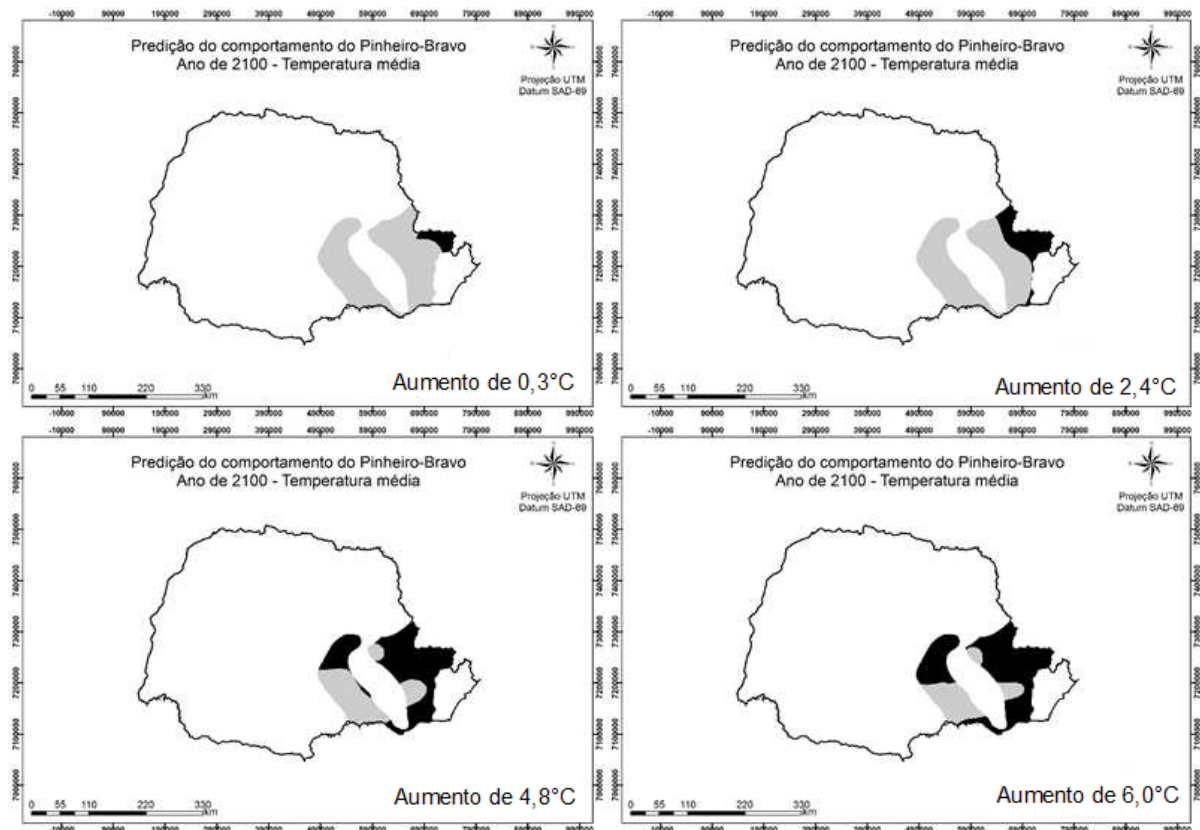
A modelagem de distribuição natural do *P. lambertii* em contextos futuros demonstrou para essa espécie sua baixa capacidade em tolerar temperaturas mais quentes. Sugere-se que estudos de diversas naturezas para elucidar o comportamento fisiológico ou avaliar as consequências em condição de estresse para essa espécie possam ser realizados como complemento a essas avaliações, assim tornando a análise mais ampla e próxima da realidade. Por ora, os mapas de retração geográfica estão dispostos nas Figuras 72, 73 e 74 demonstram episódios de quase extinção.



### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 72 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Podocarpus lambertii* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO). FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 73 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Podocarpus lambertii* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora



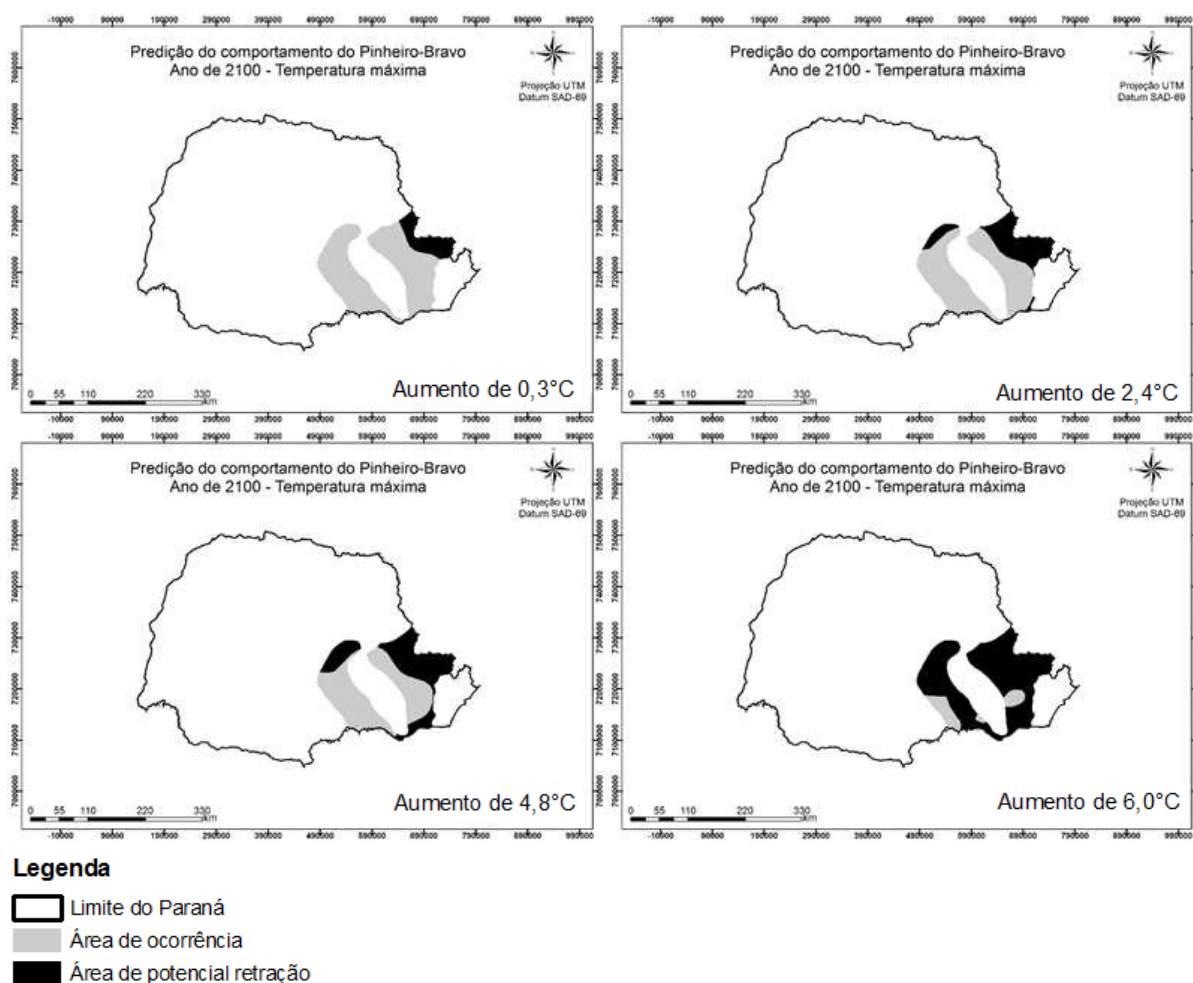


FIGURA 74 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Podocarpus lambertii* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).  
FONTE: A autora

Uma combinação entre modelos bioclimáticos e modelos de dispersão de espécies permitiram a Vos et al. (2008) identificar áreas em que a coesão territorial do ecossistema atual será insuficiente para permitir outras colonizações desse espaço no contexto das mudanças climáticas. Com previsões para 2020 e 2050, a quantidade de habitat climaticamente favorável no noroeste da Europa sofreu redução para todas as espécies estudadas, tal qual no presente trabalho. Os autores observaram ainda que, em partes significativas desse habitat, ainda quando adequado, não podem ser colonizados por conta do isolamento.

- Vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*)

A família Asteraceae predomina em algumas das regiões de paisagens naturais no Paraná, como as formações campestres. Presente nos três planaltos paranaenses, a *P. angustifolia* tem grande porte (GROKOVISKI et al., 2009), apresenta excelente regeneração natural na floresta secundária e desempenha importantes papéis na Floresta Ombrófila Mista (CARVALHO, 2006).

Ferriani et al. (2011) avaliaram a produção de brotações e enraizamento de miniestacas de vassourão-branco e observaram uma menor produtividade das mudas pela elevação na temperatura. Os propágulos das miniestacas coletadas no verão tiveram mortalidade total, mesmo sob regime de temperatura e umidade controlados, demonstrando a suscetibilidade dessa espécie à elevação de temperatura. Esse contexto também foi obtido na avaliação quanto a potencial retração dessa espécie em função de aumentos nas temperaturas, cujas projeções preveem a extinção dessa espécie nos cenários mais críticos (Figura 75, Tabela 17).

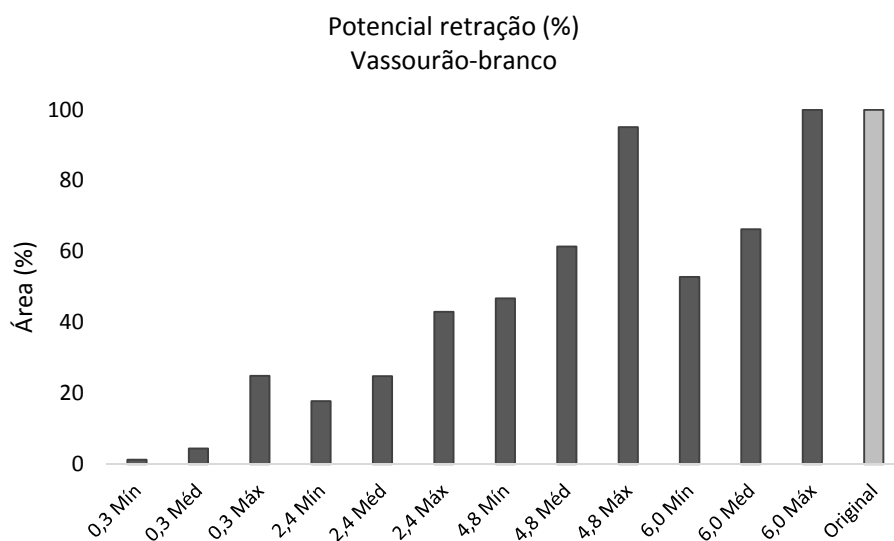


FIGURA 75 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO DE *Piptocarpha angustifolia* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. Mín = temperatura mínima; Méd = temperatura média e Máx = temperatura máxima

FONTE: A autora

TABELA 17 - ÁREA DE POTENCIAL RETRAÇÃO EM NÚMEROS DE *Piptocarpha angustifolia* EM FUNÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA 2100 NO PARANÁ. ha = hectare.

0,3 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	152.550	547.743	3.087.983
Área (%)	1,23	4,42	24,92
2,4 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	2.203.378	3.067.512	5.327.073
Área (%)	17,78	24,76	43
4,8 °C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	5.789.588	7.609.719	11.779.453
Área (%)	46,73	61,42	95,08
6,0°C			
Temperatura	Mínima	Média	Máxima
Área (ha)	6.540.216	8.212.650	12.386.489
Área (%)	52,79	66,29	100

FONTE: A autora

A análise conduzida demonstrou uma porcentagem alta de ameaça à extinção do vassourão-branco. Nos cenários mais amenos de aumento de temperatura as perdas de área de ocorrência embora tenham sido significativas, com valores que vão de 1% (150.000 ha) a 40% (mais de 5 milhões de ha), não foram drásticas. Porém, os cenários com aumento de 4,8°C a 6,0°C, essencialmente na temperatura máxima, demonstraram ser catalisadores para o desaparecimento dessa espécie.

Alguns aspectos observados na literatura podem representar um impedimento a essa condição crítica observada. Para Hamrick (2004), a combinação de longevidade individual, alta diversidade intra-populacional e o potencial de altas taxas de fluxo de pólen devem fazer as espécies arbóreas especialmente mais resistentes a extinções e perda de diversidade genética durante as mudanças das condições climáticas. Assim, estudos como o de Fowler (2008), que visaram adaptar um protocolo para extração de DNA genômico, quantificar a variabilidade genética intra e inter populacional e estabelecer critérios para seleção das árvores-matrizes em populações naturais de vassourão-branco, são imprescindíveis para fortalecer as ações de manutenção dessa espécie.

Mesmo com o desenvolvimento de pesquisas na área, existem ainda inúmeros desafios a serem cumpridos, dando a continuidade na avaliação dos impactos das mudanças climáticas em âmbitos nacionais, regionais e locais

permitem a geração das melhores informações. Este trabalho apresenta as estimativas preocupantes das taxas de perda de habitat do vassourão-branco em função de cenários climáticos para o Paraná (Figuras 76, 77 e 78).

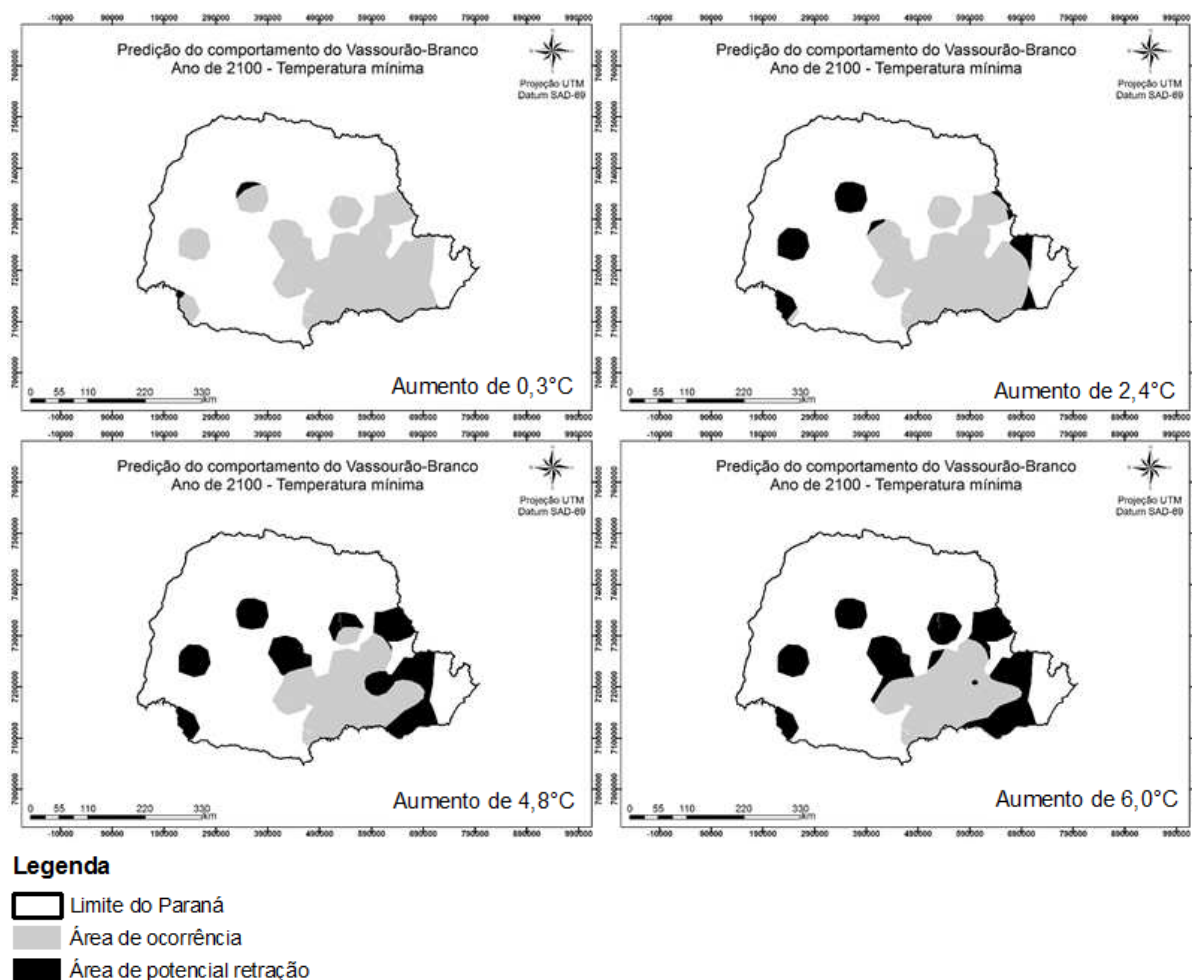


FIGURA 76 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Piptocarpha angustifolia* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

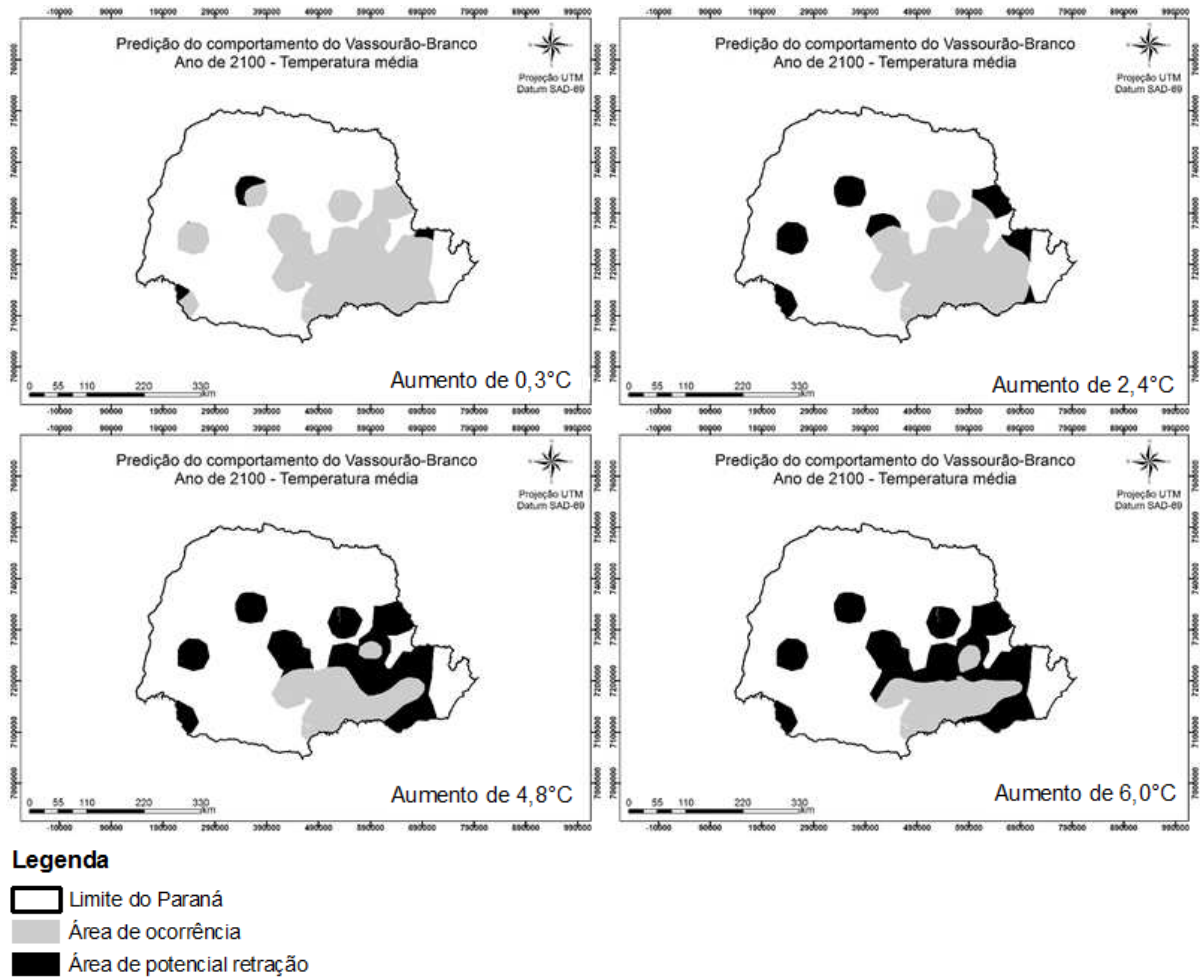
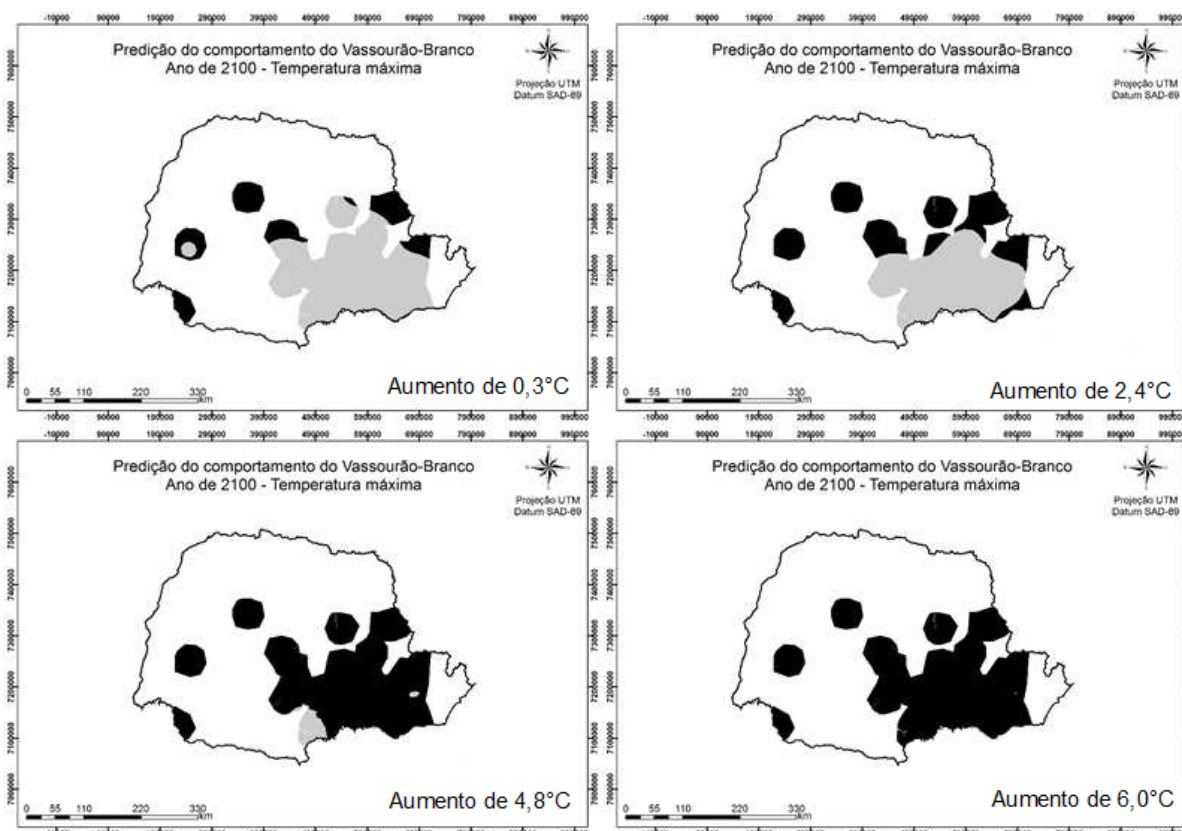


FIGURA 77 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Piptocarpha angustifolia* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÉDIA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).  
FONTE: A autora



#### Legenda

- Limite do Paraná
- Área de ocorrência
- Área de potencial retração

FIGURA 78 - PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DE *Piptocarpha angustifolia* FRENTE A POSSÍVEIS CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA O PARANÁ EM 2100 (0,3°C – SUPERIOR ESQUERDO; 2,4°C SUPERIOR DIREITO; 4,8°C INFERIOR ESQUERDO E 6,0°C INFERIOR DIREITO).

FONTE: A autora

Igualmente trabalhando com dados de distribuição e mapas de ecorregião para gerar distribuições espaciais para mais de 40 mil espécies de plantas vasculares da Amazônia, Feeley e Silman (2009) estimaram as taxas de perda de habitat e prováveis extinções associadas em dois cenários de distúrbios climáticos. Para 2050, de 5-9% das espécies entrarão em perigo de extinção. Para os autores, as estimativas de extinção representam um valioso instrumento, não só pela informação da ameaça, mas o grau relacionado a ela, e quais os habitats serão afetados pelas atuais e futuras alterações.

### 3.4 CONCLUSÕES

As variáveis climáticas e ferramentas utilizadas, de fácil aplicabilidade e acessibilidade, permitiram prever o comportamento das 10 espécies representantes da Floresta Ombrófila Mista com coerência;

Das espécies avaliadas, nenhuma delas apresentou um estado de estabilidade, ou seja, todas entrariam em um processo de retração geográfica quando comparado a extensão de área original em função de aumentos nas temperaturas do Paraná;

Três espécies podem ser extintas caso não haja uma reversibilidade da condição de elevação das temperaturas no Estado, sendo elas: imbuia, branquilha e vassourão-branco. As demais estariam criticamente em perigo de extinção, ou em perigo de extinção, a exceção do ipê-amarelo, que estaria vulnerável, demonstrando relativa resiliência aos aumentos de temperatura avaliados.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos que abordam a contextualização das mudanças climáticas e seus efeitos nos diversos campos do conhecimento têm cada vez mais ganhado espaço na comunidade científica. Como reflexo dessa posição, esse trabalho permitiu conhecer a relação entre uma potencial mudança no clima e o comportamento da biodiversidade no Paraná, como parte do entendimento da capacidade de algumas espécies florestais em responder a um aquecimento das temperaturas no Estado.

Constatou-se a complexidade associada a essa análise, tendo em vista que a predição do comportamento do clima e de organismos vivos em seus ambientes naturais é tarefa árdua e dependente de um conjunto base de variáveis e ferramentas ainda inacessíveis, incompletas e em desenvolvimento. Por essa razão, é reconhecida a limitação da modelagem aqui praticada, a qual deve ser interpretada como um indicativo de possíveis respostas para um Paraná futuro, restrita a qualidade e a disponibilidade dos dados obtidos.

Na contraposição aos limites das técnicas empregadas, ressalta-se o caráter ainda emergente e investigatório da natureza desse tipo de estudo, principalmente para o Brasil, o que demonstra a importância da construção dos resultados desse trabalho no preenchimento das lacunas do conhecimento e como subsídio a investigações posteriores, até que os inúmeros desafios correspondentes a modelagem de distribuição de florestas sejam vencidos. No estudo de caso da Floresta Ombrófila Mista, extremamente fragmentada e vulnerável, a inexistência de análises semelhantes torna a presente pesquisa importante colaboração.

Neste viés, recomenda-se uma interconexão e compartilhamento de dados entre instituições de pesquisas que permitam desenvolver mapeamentos o mais fidedigno possível, afim de dizimar esse obstáculo na elaboração desses estudos, tendo em vista que quanto melhor e mais completo o levantamento de dados, maior força terá os resultados em predições futuras.

Indica-se ainda, a ampliação dos enfoques para esse tipo de modelagem, que geralmente é feito em análise global. Acredita-se que a influência do clima nos diferentes estágios de sucessão, ou ainda sobre a dinâmica e estrutura de um tipo florestal, por grupo de espécie e por espécie, são perspectivas que precisam ser melhor abordadas. Avaliações a nível de variabilidade genética e de melhoramento



genético são igualmente imprescindíveis para tornar essa ciência mais completa, e por conseguinte para constituir métodos de mitigação.

Identificou-se que o fator predatório - exploração desordenada dos recursos naturais - constituiu pressão em todas as espécies avaliadas, bem como é principal contribuinte no aumento de gases que aquecem a atmosfera terrestre. Assim, sugere-se uma revisão e correta aplicação das regulações e leis florestais que impedem essas atividades, assim como uma ampliação de informações e medidas de educação ambiental. Estudos dessa natureza devem servir também como aliado às medidas legislativas.

Sugere-se ainda, em concordância com a ciência do clima, o potencial das florestas em mitigar possíveis mudanças climáticas. No Paraná, alguns projetos atestaram a viabilidade técnica, econômica, ambiental e social da implantação de políticas e ferramentas florestais de combate ao aquecimento do Estado. Cabe portanto o investimento em ações de manejo sustentável e de múltiplo uso, através de projetos que garantam às florestas brasileiras o cumprimento de sua essencialidade nos muitos serviços ecológicos prestados, além da possibilidade de geração de emprego e renda em uma economia de base florestal.

Recomenda-se por fim, tendo em vista a importância do clima enquanto força motriz na distribuição de espécies florestais, que as políticas públicas considerem ações de mitigação e adaptação na elaboração dos planos de manejo e ainda, promovam a ampliação e utilização de estudos abrangendo todas as tipologias florestais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS, L. Estabilidade vs. Instabilidade nos geossistemas. **Ciências da Terra (UNL)**, n. 15, p. 7-14, 2003.

ALEGRE, J.C.; VILCAHUAMÁN, L.J.M.; CORRÊA, G. Geração da curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de Erva-Mate, no Sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 33, 2007. 18 p.

ALEIXO, A.; ALBERNAZ, A.L.; GRELLE, C.E.V.; VALE, M.M.; RANGEL, T.F. Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, v. 8, n. 2, p. 194-196, 2010.

ALFARO, R.I.; FADY, B.; VENDRAMIN, G.G.; DAWSON, I.K.; FLEMING, R.A. et al. The role of forest genetic resources in responding to biotic and abiotic factors in the context of anthropogenic climate change. **Forest Ecology and Management**, p. 1-12, 2014, no prelo.

ALMEIDA, A.Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y.G.; RASCON, N.J.L.; LIMA, E.P. Geoestatística no estudo da modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 354-358, 2011.

ALVARENGA, L.H.V. **Imagens de alta resolução e geoestatística na estratificação da fisionomia cerrado para Inventários Florestais**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

ALVES, H.P.F.; OJIMA, R. Vulnerabilidade às mudanças climáticas nas áreas urbanas do Estado de São Paulo: Mudança no regime de chuvas e características socioeconômicas e demográficas da população. In: IV Encontro Nacional da Anppas, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, p. 1-19, 2008.

ALVES, M.A.P. **Impactos de cenários de alterações climáticas nos recursos energéticos renováveis: Sistema elétrico Português até 2070**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

ANDERSON, R.P.; LEW, D.; PETERSON, A.T. Evaluation predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, v. 162, p. 211-232, 2003.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; GUEDES, R.L.; OYAMA, M.D.; ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos pacífico e atlântico na variabilidade da precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113-122, 2004.

**ANUÁRIO BRASILEIRO DA ERVA-MATE**. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta, 2000. 79 p.

AQUINO, F.G.; PINTO, R.R.; RIBEIRO, J.F. **Evolução histórica do conceito de savana e sua relação com o cerrado brasileiro**. Disponível em: <[http://geografiamazucheli.blogspot.com.br/2013\\_08\\_17\\_archive.html](http://geografiamazucheli.blogspot.com.br/2013_08_17_archive.html)>. Acessado em: 20/06/2014.

ARASATO, L.S.; AMARAL, S. Geoprocessamento e biodiversidade: contribuições para modelagem da distribuição de palmeiras Amazônicas. **Anais...** In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu, PR.

ARAÚJO, M.B.; PEARSON, R. G.; THUILLERS, W.; ERHARD, M. Validation of species-climate impact models under climate change. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1504-1513, 2005.

ARAÚJO, M.B.; GUIBAN, A. Five (or so) challenges for species distribution modelling. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 1977-1688, 2006.

ARCHAUX, F., WOLTERS, V. Impact of summer drought on forest biodiversity: what do we know? **Annals of Forest Science**, v. 63, p. 645–652, 2006.

ASSAD, E.D.; MACEDO, M.A.; ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O. Avaliação de métodos estatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 161-171, 2003.

ASSIS, J.P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; MARTIN, T.N.; SPAROVEK, G.; TIMM, L.C. Ajuste de séries históricas de temperatura e radiação solar global diária as funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 113-121, 2004.

BADER, D.C.; COVEY, C.; GUTOWSKI JR., W.J.; HELD, I.M.; KUNKEL, K.E.; MILLER, R.T.; TOKMAKIAN, R.T.; ZHANG, M.H. **History of climate model development**. In: Climate models: An assessment of strengths and Limitations,

2008. Disponível em: < <http://www.camelclimatechange.org/view/article/153520/>>. Acessado em: 02/06/2014.

BAGGIO, A. J. **Estudo sobre el agroflorestal tradicional de la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) en Brasil: productividad, manejo de residuos y elaboración de compost.** 242p. Doutorado - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Espanha, 1994.

BAILLIE, J.E.M.; HILTON-TAYLOR, C.; STUART, S.N (orgs). **IUCN Red list of threatened species: A Global Species Assessment.** Gland. IUCN. 2004. 191 p.

BALBINOT, R. **Implantação de florestas geradoras de crédito de carbono: estudo de viabilidade no Sul do Estado do Paraná.** 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2004.

BAPTISTA, G. M. M. **Aquecimento global: ciência ou religião?.** Brasília: Hinterlândia, 2009. 188 p.

BARRETO, L.T. **Estimação da temperatura da região Amazônica via interpoladores geoestatísticos.** 70 f. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Estatística) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

BARTOSZECK, A.C.P.S. **Evolução da distribuição diamétrica e da relação hipsométrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais da região metropolitana de Curitiba.** 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R.J. **Atmosphere, weather and climate.** USA: Routledge, 1998. 409 p.

BATISTA, K.M. **Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e seu potencial econômico para a Serra Catarinense.** 24 f. Monografia (Ciências Rurais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, SC, 2012.

BEAUMONT, L.J.; PITMAN, A.J.; POULSEN, M.; HUGES, L. Where will species go? Incorporating new advances in climate modelling into projections of species distribution. **Global Change Biology**, v. 13, p. 1368-1385, 2007.

BEHLING, H. Tropical rain forest and climate dynamics of the Atlantic Lowland, Southern Brazil, during the late quaternary. **Quaternary Research**, n. 56, p. 383-389, 2001.

BEHLING, H.; ARZ, H.W.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in southeastern Brazil, inferences from marine cores GeoB 3229-2 and GeoB 3202-1. **Palaeo**, n. 179, p. 227-243, 2002.

BERTOLDO, E.; PAISANI, J.C.; OLIVEIRA, P.E. Registro de Floresta Ombrófila Mista nas regiões sudoeste e sul do Estado do Paraná, Brasil, durante o Pleistoceno/Holoceno. **Hoehnea**, v. 41, n.1, p. 1-8, 2014.

BETTS, R.; NOBRE, C.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; CHOU, S. **Como modelamos o clima?** In: MARENGO, et al. (Ed.). Riscos das mudanças climáticas no Brasil. Cachoeira Paulista: CCST/INPE, 2011. 56 p.

BIGARELLA, J. J. Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, v. 10, nº 15, 1964.

BITENCOURT, A.L.V.; HASENACK, H.; MAUHS, J. Estudo do padrão atual da Floresta Ombrófila Mista e Campos em relação ao relevo e clima, Floresta Nacional de São Francisco de Paula e imediações, RS. **Anais...** In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários, 2003, Recife. II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa. Recife: ABEQUA, 2003. v. 1.

BROTTONS, L.; THUILLER, W.; ARAÚJO, M; HIRZEL, A. Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. **Ecography**, v. 27, p. 437-448, 2004.

BROWN, K. S. JR. Paleoecology and regional patterns of evolution in Neotropical Forest butterflies. **Biological differentiation in the tropics**. New York: Columbia University Press, 1982.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M.V. **Biogeografia**. 2ª ed. Funpec, Ribeirão Preto. 692 p. 2006.

BURTON, I.; HUQ, S.; LIM, B.; PILIFOSOVA, O.; SCHIPPER, E.L. From impacts assessment to adaptation priorities: The shaping of adaptation policy. **Climate Policy**, v. 2, p. 145-159, 2002.

CÂMARA, I.G. **Breve história da conservação da Mata Atlântica**. 2005. 12 p. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005, 472 p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-Scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, C.P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto**. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

CANHOS, V.P.; SIQUEIRA, M.F.; MARINO, A.; CANHOS, D.A.L. Análise da vulnerabilidade da biodiversidade brasileira frente às mudanças climáticas globais. *Parcerias Estratégicas*, n. 27, p. 1-36, 2008.

CARMO, F.M.S.; LIMA E BORGES, E.E.; TAKAKI, M.T. Alelopatia de extratos aquosos de canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer). **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 3, p. 697-705, 2007.

CARNAVAL, A.C.; HICKERSON, M. J.; HADDAD, C.F.B.; RODRIGUES, M.T.; MORITZ, C. Stability predicts genetic diversity in the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. **Science**, v. 323, p. 785-789, 2009.

CARPANEZZI, A. A. **Aspectos técnicos da produção de Bracatinga**. In: Memórias da oficina sobre Bracatinga no Vale do Ribeira. Dados eletrônicos, Colombo: Embrapa Florestas, p. 39-44. 2006.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. 1994. Embrapa–CNPQ. 640 p.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1 v. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CARVALHO, P.E.R. **Pinheiro-Bravo – *Podocarpus lambertii***. Circular técnica, n. 95, p. 1-9, Colombo, PR, dez/2004.

CARVALHO, P.E.R. **Vassourão-Branco**. Circular técnica, n. 115, p. 1-6, Colombo, PR, dez/2006.

CARVALHO, J.; MARQUES, M.C.M.; RODERJAN, C.V.; BARDALL, M.; SOUSA, S.G.A. Relações entre a distribuição das espécies de diferentes estratos e as características do solo de uma floresta aluvial no Estado do Paraná, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 1, p. 1-9, 2009.

CASTELA, P.R.; BRITEZ, R.M. **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF, 2004. 236 p.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acessado em: 12/03/2014.

CENAMO, M. C.; PAVAN, M.N.; BARROS, A.C.; CARVALHO, F. **Guia sobre Projetos REDD+ na América Latina**. Manaus, 2010. 96 p.

CGEE. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. **Parcerias Estratégicas**, n. 27, p. 1-360, 2008.

CHAGAS, G.F.B.; SILVA, V.P.R.; COSTA, A.C.L.; DANTAS, V.A. Impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea da Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n.1, p. 72-79, 2012.

CHANG, M. Sequestro de carbono florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n. 102, p. 85-101, 2002.

CHUNG, M.G.; CHUNG, M.Y.; OH, G.S.; EPPERSON, B.K. Spatial genetic structure in a *Neolitsea sericea* population (Lauraceae). **Heredity**, n. 85, p. 490-497, 2000.

COLOMBO, A.F. **Consequências potenciais das mudanças climáticas globais para espécies arbóreas da Mata Atlântica**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

COLOMBO, A.F.; JOLY, C.A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3, p. 697-708, 2010.

CORDEIRO, J.; RODRIGUES, W.A. Caracterização fitossociológica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Guarapuava, PR. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 545-554, 2007.

COSTA, S.G. **A Erva-Mate**. Curitiba: Coleção Farol do Saber, 1995, 132 p.

CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R.; FIGUEIREDO-FILHO, A.; PEREIRA, T.K.; BEHLING, A. Desempenho de métodos e processos de amostragem para avaliação de diversidade em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 579-582, 2013.

DALLACORT, R.; MORAES, V.R.; ALVES, E.D.L.; COMUNELLO, E.; FIETZ, C.R. Modelos de semivariograma para análise da variabilidade espacial da precipitação pluvial no Pantanal de Mato Grosso. In: 4º Simpósio de Goetecnologias do Pantanal, Bonito, MS. **Anais...** Bonito, p. 467-477, 2012.

DESSAI, S.; TRIGO, R. A ciência das alterações climáticas. **Finisterra**, v. 71, p. 117-132, 2001.

DI PIAZZA, A.; LO CONTI, F.; LOTO, L.V.; VIOLA, F.; LLOGGIA, G. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, p. 396-408, 2011.

DIAS, M.A.F.S.; DIAS, P.L.S. **As incertezas regionais nos cenários de mudanças climáticas globais**. In: MOSCATI, M.C.L. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, p. 148, 2007.

DÜMING, A.; SCHAD, P.; RUMPEL, R.; DIGNAC, M-F.; KÖGEL-KNABNER, I. Araucaria forest expansion on grassland in the Southern Brazilian highlands as revealed by  $^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  studies. **Geoderma**, v. 145, p. 143-157, 2008.



FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **State of the World's Forests**, 2011.179 p.

FEELEY, K.J.; SILMAN, M.R. Extinction risks of Amazonian plant species. **PNAS**, v. 106, p. 12382–12387, 2009.

FERRIANI, A.P.; ZUFFELATO-RIBAS. K.C.; HELM, C.V.; BOZA, A.; WNDLING, I.; KOEHLER, H.S. Produção de brotações e enraizamento de miniestacas de *Piptocarpha angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 257-264, 2011.

FERREIRA, W.P.M.; VALLADARES, G.S.; HOTT, M.C. Estimativa da temperatura média mensal do ar para os Estados de Minas Gerais e do Pará, utilizando-se Modelos Digitais de Elevação. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 4, p. 293-303, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A.N.; STEPKA, T.F.; SAWCZUK, A.R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FLIZIKOWSKI, L.C. **Estimativas de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FOWLER, J.A.P. **Diversidade genética por marcador Rapd em populações naturais de *Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme**. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônômicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

FRANCO, A.M.S.; DILLENBURG, L.R. Ajuste morfológico e fisiológico em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, v. 34, p. 135-144, 2007.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; AGUIAR, A.V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático do Paraná. **Revista de estudos em mentes**, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FRUTEIRA, R.S.; LEITE, M.L.; VIRGENS FILHO, J.S. Desempenho do modelo PGECLIMA\_R na simulação de séries diárias sintéticas de radiação solar global para diferentes localidades no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 9, p. 35-47, 2011.

FURTADO, A.; NEGREIRO, J. Modelação espacial da temperatura na Ilha de Santiago, Cabo verde, com o GeoStatistical Analyst®. **Captar**, v. 2, n. 3, p. 1-8, 2010.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I.G. **Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese**. 2005. 9 p. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005, 472 p.

GARCIA, K.; LASCO, R.; INES, A.; LYON, B.; PULHIN, F. Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the Philippines. **Applied Geography**, n. 44, p 12-22, 2013.

GASPAROTTO, F.K.; CARAMORIZ, P.H.; VASCONCELLOS, M.E.C. Análise de tendência de variáveis climáticas térmicas e hídricas para o Estado do Paraná. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, 2005. Não paginado.

GAZZONI, D.L.; ESTEVÃO, D. **Representação esquemática do efeito estufa**. 2012. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/i/credito-de-carbono/efeito-estufa.jpg>>, Acessado em: 15/05/2014.

GESSERT, S.; IRIARTE, J.; RÍOS, R.C.; BEHLING, H. Late Holocene vegetation and environmental dynamics of the Araucaria forest region in Misiones Province, Argentina. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 166, p. 29-27, 2011.

GIANNINI, T.C.; SIQUEIRA, M.F.; ACOSTA, A.L.; BARRETO, F.C.C.; SARAIVA, A.M.; SANTOS, I.A. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.

GILLUNG, J.P. Biogeografia: a história da vida na Terra. **Revista da Biologia**, vol. Especial Biogeografia, p. 1-5, 2011.

GODOY, J.R.L.; MARABESI, M.A.; MORTARI, L.C.; AIDAR, M.P.M.; BUCKRIDGE, M.S. A dinâmica da floresta neotropical e as mudanças climáticas globais. **Naturalia**, v. 32, p. 53-66, 2009.

GOETZKE, S. **Estudo fitossociológico de uma sucessão secundária no Noroeste do Paraná, proposta para recuperação de áreas degradadas**. 1990. 239p. Dissertação – (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1990.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University, 1997. 496 p.

GRAF NETO, J. **Crescimento, recrutamento e mortalidade no período de 2001-2010 de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Município de Araucária, Paraná**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2011.

GROKOVISKI, L.; CERVI, A.C.; TARDIVO, R.C. O gênero *Piptocarpa* R.Br. (Asteraceae: Vernonieae) no Estado do Paraná, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 486-498. 2009.

GUERRA, M.P.; SILVEIRA, V.; REIS, M.S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da Floresta com Araucária. In: SIMÕES, L.L.; LINO, C.F. (Ed.). **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2000. 85-101 p.

HAMADA, E.; MAIA, A.H.N.; GHINI, R.; THOMAZ, M.C.; GONÇALVES, R.R.V.; LANA, J.T.O.; ALMEIDA, E.G. Percepções projetadas pelos modelos climáticos globais do quarto relatório do IPCC para o Sudeste do Brasil. In: Workshop sobre mudanças climáticas e problemas fitossanitários, Jaguariúna, SP. **Anais...** Jaguariúna, p. 1-9, 2012.

HAMRICK, J.L. Response of forest trees to global environmental changes. **Forest Ecology and Management**, v. 197, p. 323-335, 2004.

HOEGH-GULDBERG, O.; BRUNO, J.F. The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. **Science**, v. 328, p. 1523-1528, 2010.

HONNAY, O., VERHEYEN, K., BUTAYE, J., JACQUEMYN, H., BOSSUYT, B., HERMY, M. Possible effects of habitat fragmentation and climate change on the range of forest plant species. **Ecology Letters**, v. 5, p. 525–530, 2002.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Classificação Climática do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acessado em: 11/03/2014.

IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná. **Carta Climática do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>>; Acessado em: 28/06/2014.

Instituto das Águas do Paraná. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=73>>. Acessado em: 12/03/2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese dos Estados**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pr>>. Acessado em: 11/03/2014.

IBGE. **Mapa da área de aplicação da Mata Atlântica Simplificado**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivos/biomas/mata\\_atlantica/mapa\\_mata\\_atlantica\\_lei\\_11428\\_2006\\_e\\_decreto6660\\_2008.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/biomas/mata_atlantica/mapa_mata_atlantica_lei_11428_2006_e_decreto6660_2008.pdf)>, Acessado em: 25/11/2014.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. n. 1, 2ª ed. BRASIL, 2012.

INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto Madeira do Paraná**. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1984. 260 p.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Relatório técnico (2011-2012). São Paulo, 2013. 61 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013 – The physical Science Basis**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>>; Acessado em: 17/03/2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Organization**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>>. Acessado em: 15/05/2014.

IRIARTE, J.; BEHLING, H. The expansion of Araucaria forest in the southern Brazilian highlands during the last 4000 years and its implications for the

development of the Taquara/Itararé Tradition. **Environmental Archeology**, v. 12, p.115–127, 2007.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. **Dados e informações geoespaciais temáticos**, 2008. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9#>>. Acessado em: 12/03/2014.

IVERSON, L.R.; PRASAD, A.M.; MATTHEWS, S.N.; PETERS, M. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios. **Forest Ecology and Management**, v. 254, p. 390–406, 2008.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; LOBO, J.M.; HORTAL, J. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. **Diversity and distributions**, v. 14, p. 885-890, 2008.

JESKE-PIERUSCHKA, V.; FIDELIS, A.; BERGAMIN, R.S.; VÉLEZ, E.; BEHLING, H. Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in Southern Brazil based on fossil and modern pollen data. **Review of Paleobotany and Palynology**, n. 160, p. 53-65, 2010.

JONES, P.D.; NEW, M.; PARKER, D.E.; MARTIN, S.; RIGOR, I.G. Surface air temperature and its change over the past 150 years. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 2, p. 173-199, 1999.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.

JUMP, A.S.; PENUELAS, J. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. **Ecology Letters**, v. 8, p. 1010–1020, 2005.

KLABUNDE, G.H.F. **Análise filogeográfica entre populações de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em sua área de distribuição natural**. Florianópolis, 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais). Universidade Federal de Santa Catarina.

KLEIN, R. M. Os tipos florestais com Araucária em Santa Catarina. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Botânica. Sociedade Botânica do Brasil, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, p. 97-100, 1985.

KRÜGER, C.M. Análise geoestatística de dados meteorológicos do Estado do Paraná utilizando um software livre. **da Vinci**, v. 2, n. 1, p. 87-104, 2005.

KRUG, T. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das florestas às mudanças do clima. **Parcerias Estratégicas**, n. 27, p. 44-72, 2008.

LACERDA, F.; NOBRE, P. Aquecimento global: conceituações e repercussões sobre o Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 14-17, 2010.

LANGE, T.L.; MONTEIRO, J.M.G. Avaliação do potencial de estabelecimento de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta (LULUCF) no município de Cachoeiras de Macacu, RJ – Brasil. **Embrapa Comunicado Técnico**, n. 56, p. 1-4, 2010.

LAPOLA, D.M. **Consequências das mudanças climáticas globais nos biomas da América do Sul: um modelo de vegetação potencial incluindo Ciclo de Carbono**. 186 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2007.

LEITE, P. F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil. Proposta de classificação**. Curitiba, 1994. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LIEBSCH, D.; ACRA, L.A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n.1, p.67-76, 2004.

LIMA, K.C.; SANTOS, J.G.M. Relações entre eventos de precipitação normal e intensa com as anomalias de temperatura da superfície do mar. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 151-163, 2011.

LIMA, T.E.O.; HOSOKAWA, R.T.; MACHADO, S.A.M. Fitossociologia do componente arbóreo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Guarapuava, Paraná. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 553-564, 2012.

LINDNER, M.; MAROSCHEK, M.; NETHERER, S.; KREMER, A.; BARBATI, A.; GARCIA-GONZALO, J.; SEILD, R.; DELZON, S.; CORONA, P.; KOLSTRÖM, M.; LEXER, M.J.; MARCHETTI, M. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p.698-709, 2010.

LOCKWOOD, M.; FRÖLICH, C. Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. **Proceedings of the Royal Society**, p. 1-14, 2007.

LOBO, J. M.; JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; REAL, R. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. **Global Ecology and Biogeography**, v. 17, p. 145–151. 2008.

LONGHI, S.J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LONGHI, S. J.; BRENA, D.A.; BECKER, R.S.; GRACIOLI, C.R.; LONGHI, R.V.; MASTELLA, T. Fatores ecológicos determinantes na ocorrência de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria. 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: Nova Odessa: Plantarum, 2000. 384 p.

LYRA, G.B.; SANTOS, M.J.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; SANTOS, M.A. Espacialização da temperatura do ar anual no Estado de Alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 275-287, 2011.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio Editora S.A, 1981. 426 p.

MAHARAJ, S.S.; NEW, M. Modelling individual and collective species responses to climate change within Small Island States. **Biological Conservation**, n. 167, p. 283-291, 2013.

MANABE, S.; WETHERALD, R.T. Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a given distribution of Relative Humidity. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 24, n. 3, p. 241-259, 1967.

MARANHO, L.T.; GALVÃO, F.; PREUSSLER, K.H.; MUÑIZ, G.I.B.; KUNIYOSHI, Y.S. Efeitos da poluição por petróleo na estrutura da folha de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., Podocarpaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 3, p. 615-624, 2006.

MARCATTO, T.I.; LIMA, L.A. Sociedade Contemporânea e o Protocolo de Quioto: O mundo em prol do Meio Ambiente. **Conexxio**, ano 2, n. 2, p. 41-63, 2013.

MARENGO, J.A.; SOARES, W. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: Síntese do terceiro relatório do IPCC 2001**. In: Clima e Recursos Hídricos 9. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, p. 209-233, 2003.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI**. MMA, Série Biodiversidade, v. 26, 212 p., 2006.

MARENGO, J.A. **Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**. Séries Biodiversidade. Brasília: MMA, v. 26, 212 p., 2006a.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C.; ROCHA, R.P.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Brasília, MMA, 77 p., 2007.

MARENGO, J.A.; AMBRIZZI, T.; ALVES, L.; NOBRE, C.; PISNITCHENKO, I. **Atlas de Cenários Climáticos para o Brasil**. Brasília, MMA, 124 p., 2007a.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; BETTS, R.A.; COX, P.M.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. **Global warming and climate change in Amazonia**. In: Keller M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P.S. Amazonia and Global Change. Washington, DC: American Geophysical Union. 2009. v. 186, p. 262-273.

MARTINELLI, G.; MORAES, M.A (Orgs). **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 1102 p.

MARUYAMA, S. **Aquecimento global?**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 128 p.

MCKINSEY & COMPANY. **Pathways to a low-carbon economy**. Version 2.0 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve. 192 p. 2009.



MCNEELY, J. A.; MITTERMEIER, R. A.; BROOKS, T. M.; BOLTZ, F.; ASH, N. **The ealth of Nature: Ecosystem Services, Biodiversity, and Human Well-being**. Arlington: Cemex-ILCP-Conservation International. 2009.

MEDEIROS, Y.D.P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em regiões semi-áridas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.2, p. 127-136, 2003.

MEDEIROS, S.S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; SILVA JÚNIOR, J.L.C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p. 247-255, 2005.

MEDEIROS, M.B.; CARDOSO, M.S.; ALBUQUERQUE, R.W.; NORONHA, S.E. Redução de incertezas em análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas para *Dicksonia sellowiana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p. 299-308, 2013.

MELEM, V. M. **Utilização da geoestatística na construção de mapas de temperatura média mensal para o Estado do Paraná**. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo, Campinas, SP, 2002.

MELO, L.C.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Avaliação do enfoque geoestatístico aplicado a variáveis climáticas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 563-574, 2014.

MELLO, J.M. **Geoestatística aplicada ao Inventário Florestal**. 111 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MILANI, E.J. **Créscimento de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. em duas regiões fitogeográficas no Estado do Rio Grande do Sul**. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001.

MITTERMEIER, R.A.; TURNER, W.R.; LARSEN, F.W.; BROOKS, T.M.; GASCON, C. Global Biodiversity Conservation: the Critical Role of Hotspots. In: ZACHOS, F.E.; HABEL, J.C. (orgs.). **Biodiversity Hotspots**. Heidelberg: Springer. 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Inter-relação entre biodiversidade e mudanças climáticas**. Séries Biodiversidade, v. 28. Brasília, DF, 220 p. 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 6, de 23 de Setembro de 2008. **Lista Oficial da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/esp%C3%A9cies-amea%C3%A7adas-de-extin%C3%A7%C3%A3o/flora-amea%C3%A7ada>>. Acessado em: 18/03/2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Florestas tropicais, adaptação e mitigação às mudanças climáticas**. Nota Informativa 01, 2012. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/redd/images/Publicacoes/mma\\_notainformativa\\_01.pdf](http://www.mma.gov.br/redd/images/Publicacoes/mma_notainformativa_01.pdf)>. Acessado em: 10/03/2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Protocolo de Quioto**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>>. Acessado em 14/03/2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Bioma Mata Atlântica**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>>; Acessado em: 18/04/2014.

MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbono como serviço ambiental prestado por um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no sul do estado do Paraná**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, PR, 2011.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global, El niños, Manchas solares, Vulcões e Oscilações decadal do Pacífico. **Revista Climanálise**, v. 1, ano 3, p. 1-5, 2005.

MOLION, L. C. B. Desmistificando o Aquecimento Global. **Intergeo**, v. 5, p. 13-20, 2008.

MOTA, V.C. **Metodologia geoestatística para caracterizar a variabilidade temporal de elementos climáticos em Juiz de Fora – MG**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008.

MORAES, M.A.; MARTINELLI, G. **A importância de listas vermelhas nos processos de conservação da biodiversidade**. 2013. P 53-57. In: MARTINELLI, G.; MORAES, M.A (Orgs). Livro Vermelho da Flora do Brasil. 1ª ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 1102 p.

MOSCOSO, V.; ALBERNAZ, A.L.; SALOMÃO, R.P. Niche modelling for twelve plant species (six timber species and six palm trees) in the Amazon region, using collection and field survey data. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 652-662, 2013.

MOURA, G.B.A.; ARAGÃO, J.O.R.; MELO, J.S.P.; SILVA, A.P.N.; GIONGO, P.R.; LACERDA, F.F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos Oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 462-469, 2009.

MULLER, R.A. The conversion of a Climate-Change skeptic. **The New York Times**, 2012. Não paginado.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NARVAES, I.S. BRENA, D.A.; LONGHI, S.J. Estrutura da regeneração natural em floresta ombrófila mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 331-342, 2005.

NASCIMENTO, A.R.T.; LONGHI, S.J.; BRENA, D.A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p.105-119, 2001.

NAVAS, C.A.; CRUZ-NETO, A. Se extinções associadas a mudanças climáticas são eventos naturais, porque devemos nos preocupar com o cenário atual?. **Revista de Biologia**, v. 1, p. 9-11, 2008.

NETTO, A.P.F.A. **O futuro da terra: discursos inconvenientes**. 300 f. Tese (Doutorado em Linguística) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Estudos da Linguagem, Campinas – SP, 2013.

NOOA. **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Disponível em: < <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/>>, Acessado em: 02/06/2014.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, S. Cenários de mudanças climáticas para a América do Sul para o final do século 21. **Parcerias Estratégicas**, n. 27, p. 19-41, 2008.

NOBRE, C.A. Mudanças climáticas e o Brasil – contextualização. **Parcerias Estratégicas**, n. 27, p. 7-17, 2008a.

NOBRE, C.A. Mudanças climáticas e o Brasil: Porque devemos nos preocupar? **Plenarium**, n. 5, v. 5, p. 12-20, 2008b.

NUNES, L.H. Repercussões globais, regionais e locais do aquecimento global. **Terra Livre**, n. 20, v. 1, 2003.

OLIVEIRA, M.V.N.; BRAZ, E.M. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. **Acta amazônica**, v. 36, n. 2, p. 177-182, 2006.

OLIVEIRA, R.R. Mata Atlântica, paleoterritórios e história ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 11-23, 2007.

OLIVEIRA, S.M.B. **Base científica para compreensão do aquecimento global**. In: VEIGA, J.E. Aquecimento Global: frias contendas científicas. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2008, 112 p.

OPROMOLLA, P.A.; DALBEN, I.; CARDIM, M. Análise geoestatística de casos de hanseníase no Estado de São Paulo, 1991-2002. **Revista de Saúde Pública**, v. 40, n. 5, p. 907-913, 2006.

PARMESAN, C.; GAINES, S.; GONZALEZ, L.; KAUFMAN, D.M.; KINGSOLVER, J.; PETERSON, A.T.; SAGATIN, R. Empirical perspectives on species' borders: environmental change as challenge and opportunity. **Oikos**, n. 108, p. 58-75, 2005.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 37, p. 637-669, 2006.

PASINATO, R. **Aspectos etnoentomológicos, socioeconômicos e ecológicos relacionados à cultura da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*) no município de Salto de Lontra no Paraná**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.

PBMC. **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário executivo do Volume 1 – Base científica das Mudanças Climáticas, PBMC, 2012. Rio de Janeiro, Brasil, 34 p.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259, 2006.

PHILLIPS, S.J. Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson et al. (2007). **Ecography**, v. 31, p. 272-278, 2008.

PILLAR, V.P. **Dinâmica da expansão florestal em mosaicos de Floresta e Campos no Sul do Brasil**. In: Claudino-Sales, V. (Org.) *Ecossistemas Brasileiros: Manejo e Conservação*, p. 209-216. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003.

PIMM, S.L.; JENKIS, C.N.; ABELL, R.; BROOKS, T.M.; GITTLEMAN, J.L.; JOPPA, L.N.; RAVEN, P.H.; ROBERTS, C.M.; SEXTON, J.O. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, v. 344, p. 987-998, 2014.

PINHEIRO, C.C.; GANADE, G. Influência do micro-habitat no processo de predação de sementes em uma área degradada. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 4, p. 20-27, 2009.

PIVETTA, M. Extinção de peso. **Revista FAPESP**, n. 98, p. 36-43, 2004. Disponível em: < <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2004/04/036-043-zoologia.pdf>>; Acessado em: 20/06/2014.

POMPE, S.; HANSPACH, J.; BADECK, F.; KLOTZ, S.; THUILLER, W.; KÜNH, I. Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. **Biology Letters**, v. 4, p. 564-567, 2008.

PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. **Biomass na abrangência nacional**. Disponível em: <<http://www.ecoa.unb.br/probioea/guia/index.php/fundamentos-teorico-metodologicos-do-trabalho/9-abrangencia-nacional-em-termos-dos-biomass>>; Acessado em: 25/06/2014.

QUINET, A.; KUTSCHENKO, D.C.; BARROS, F.S.M.; MORAES, M.M.V.; FERNANDEZ, E.P.; MESSINA, T. **Lauraceae**. 2013. p. 591-607 In: MARTINELLI, G.; MORAES, M.A (Orgs). *Livro Vermelho da Flora do Brasil*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 1102 p.

RAGAGIN, L.I.M.; COSTA, E.C.; HOPPE, J.M. Maturidade fisiológica de sementes de *Podocarpus lambertii* Klotzsch. **Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, p. 23-41, 1994.

RAMANATHAN, V. Trace-Gas greenhouse effect and global warming. **Ambio**, v. 27, n. 3, p. 187-197, 1998.

RAMANKUTTY, N.; GIBBS, H. K.; ACHARD, F.; DEFRIESS, R.; FOLEY, J. A.; HOUGHTON, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biology**, v. 13, p. 51-66, 2007.

RESENDE, A.S.; SANTOS, A.O.; GONDIM, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.H.M.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. **Efeito estufa e o sequestro de carbono em sistemas de cultivo com espécies florestais e na cultura de cana-de-açúcar**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 23 p. (Documentos, 133).

RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, n. 142, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO, R.A.; LEMOS-FILHO, J.P.; RAMOS, A.C.S.; LOVATO, M.B. Phylogeography of the endangered rosewood *Dalbergia nigra* (Fabaceae): insights into the evolutionary history and conservation of the Brazilian Atlantic Forest. **Heredity**, n. 106, p. 46-57, 2011.

RIBEIRO, A.; MACHADO, S.A. Avaliação econômica dos benefícios dos macronutrientes em diferentes povoamentos de Bracatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 422-430, 2012.

RICCE, W.S.; CARAMORI, P.H.; MORAIS, H.; SILVA, D.A.B.; ATAÍDE, L.T. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, Estado do Paraná. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2009. Não paginado.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Âmbito Cultural, 1997, 747 p.

ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 214 f. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas Aplicadas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.

ROCHADELLI, R. **Contribuição sócio-econômica da Bracatinga (*Mimosa scabrella*) na região metropolitana de Curitiba-Norte (RMC-N)**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1997.

RODERJAN, C.V. **O gradiente da Floresta Ombrófila Densa no Morro do Anhangava, Quatro Barras, PR - aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. 1994. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência e Ambiente**, n. 24, p. 75-92, 2002.

RODHE, D.; CHARLSON, R.; CRAWFORD, E. Svante Arrhenius and the greenhouse effect. **Ambio**, v. 26, n. 1, p. 3-5, 1998.

RODRIGUES, M.A; FERREIRA, I.Q.; CLARO, A.M.; CORREIA, C.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; BACELAR, E.; FERNANDES-SILVA, A.; ARROBAS, M. Sequestro de carbono no Olival: Mito ou Realidade? In: VI Simpósio Nacional de Olivicultura, Mirandela. **Anais...** Mirandela, 2012, p. 75.

RONDON NETO, R.M.; WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA, M.V.W.; SCHOENINGER, E.R. Análise florística e estrutural de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, situado em Criúva, RS – Brasil. **Ciência Florestal**, v. 12, n.1, p. 29-37, 2002.

RUBEL, F.; KOTTEK, M. Comments on: "The thermal zones of the Earth" by Wladimir Köppen (1884). **Meteorologische Zeitschrift**, v. 20, n. 3, p. 361-365, 2011.

RUIZ-LABOURDETTE; SCHMITZ, M.F.; PINEDA, F.D. Changes in tree species compositions in Mediterranean mountains under climate changes: Indicators for conservation planning. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 310-323, 2013.

SALATI, E.; SANTOS, A.A.; KLABIN, I. Relevant environmental issues. **Estudos Avançados**, v.21, n. 56, 2007.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. Climate changes consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-6, 2007.

SALM, R.; SALLES, N. V. D.; ALONSO, W. J.; SCHUCK-PAIM, C. Cross-scale determinants of palm species distribution. **Acta Amazonica**, v.37, n.1, p.17-25, 2007.

SANQUETTA, C. R. Fragmentação da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE A MATA ATLÂNTICA: Conservação, Recuperação e Desenvolvimento, 1, 2005, Viçosa. **Anais...** Viçosa: CBCN - Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, 2005. 1 CD-ROM.

SANQUETTA, C.R.; MATTEI, E. **Perspectiva de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária.** Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2006. 264 p.

SANQUETTA, C. R; TETTO, A. F. **Pinheiro do Paraná: lendas e realidades.** 2ª ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2007. 112 p.

SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; MONGON, F.; MAAS, G.C.B.; RODRIGUES, A.L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n.1, p. 1-8, 2014.

SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; RODRIGUES, A.L.; MOGNON, F. **Floresta com Araucária e suas transições: pesquisas ecológicas de longa duração.** Curitiba: Multi-Graph, 2014a. 296 p.

SANSIGOLO, C.; RODRIGUEZ, R.; ETCHICHURY, P. Tendências nas temperaturas médias do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo, p. 367-371, 1992.

SANTOS, S.R.G.; PAULA, R.C.; FOGAÇA, C.A.; MÔRO, F.V.; COSTA, R.S. Viabilidade de sementes de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs (branquilho) – Euphorbiaceae – pelo teste de tetrazólio. **Científica**, v. 34, n. 1, p. 39-45, 2006.

SARTORI, A.A.C.; SILVA, A.F.; RAMOS, C.M.C.; ZIMBACK, C.R.L. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu – SP. **Irriga**, v. 15, n. 2, p. 131-139, 2010.

SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S.P. Possíveis impactos de mudanças climáticas em curvas intensidade duração frequência. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves, p. 1-9, 2013.

SCHEER, M.B.; BLUM, C.T. **Arboreal Diversity of the Atlantic Forest of Southern Brazil: From the Beach Ridges to the Paraná River.** In: GRILLO, O. (Org.) The Dynamical Processes of Biodiversity - Case Studies of Evolution and Spatial Distribution. 2011.



SCHMID, M.L. **Análise econômica entre o valor do uso tradicional da terra e a conservação florestal pela aplicação do conceito REDD+: Um estudo de caso na APA de Guaratuba.** 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, PR, 2011.

SCHNEIDER, S. H. **Global warming. Are we entering the Greenhouse Century?** Sierra. Club Books, San Francisco. 1989.

SEIBERT, P. & CARAUTA, J.P.P. Plano de Manejo do Parque Estadual de Campos do Jordão. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, v. 19, p.1-153, 1975.

SEPED. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.** Relatório Final. 80 p. Brasília, Brasil, 2013.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. **Florestas do Brasil em resumo – 2013: dados de 2007-2012.** Brasília, DF, 2013, 188 p.

SHIMOYA, C. Contribuição ao estudo do ciclo biológico de *Araucaria angustifolia* (Bertolini) O. Kuntze. **Experientiae**, v. 2, p. 520-540, 1962.

SILVA, F. C.; MARCONI, L. P. Fitossociologia de uma floresta com Araucária em Colombo-PR. **Boletim de Pesquisas Florestais**, n.20, p.23-38, 1990.

SILVA, M.E.S.; GUETTER, A.K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 111-126, 2003.

SILVA, J.M.C.; CASTELETTI, C.H.M. **Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira.** 2005. 17 p. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. Mata Atlântica: Biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005, 472 p.

SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V.H.A. Aquecimento ou resfriamento global? Um único problema de várias respostas. **Polêmica**, v. 11, n. 3, 2012.

SIQUEIRA, M.F.; PETERSON, A.T. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. **Biota Neotropica**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2003.

SIQUEIRA, J.C. Os desafios de uma fitogeografia urbana. **Botânica**, n. 56, p. 229-238, 2005.

SIQUEIRA, M.F. **Uso de modelagem de nicho fundamental na avaliação do padrão de distribuição geográfica de espécies vegetais**. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2005.

SIQUEIRA, C.D. Regime internacional de mudanças climáticas e segurança energética. **Mediações**, v. 16, n. 2, p. 210-227, 2011.

SIQUEIRA, H.R.; ALVES, G.F.; GUIMARÃES, E.C. **Comportamento da precipitação pluviométrica mensal do Estado de Minas Gerais: Análise espacial e temporal**. Disponível em: <[http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:geoesalq:pira2012:adrielle\\_artigo1.pdf](http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:geoesalq:pira2012:adrielle_artigo1.pdf)>. Acessado em: 02/10/2014.

SOLÓRZANO-FILHO, J.A.; KRAUS, J.E. Breve história das matas de Araucária. **Forest**, v. 99, p. 37-47, 1999.

SONEGO, R.C.; BACKES, A.; SOUZA, A.F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta Botânica Brasileira**, v. 21, n.4, p. 943-955, 2007.

STEENBOCK, W.; SIMINSKI, A.; FANTINI, A.C.; REIS, M.S. Ocorrência da Bracatinga (*Mimosa scabrella*) em bracatingais manejados e em florestas secundárias na região do planalto catarinense. **Revista Árvore**, v. 53, n. 4, p. 845-857, 2011.

TAKEDA, I. J. M.; SOUZA, M.K.F; MORO, R.S.; CRUZ, L.C. Estrato arbóreo de Floresta Ombrófila Mista ciliar da Fazenda Trevo, município de Jaguariaíva, PR. In: Congresso Nacional de Botânica, 1998. Salvador. **Anais...** Salvador: SBB, 1998. p. 399.

TARAZI, R.; MATOVANI, A.; REIS, M.S. Fine-scale spatial genetic structure and allozymic diversity in natural populations of *Ocotea catharinensis* Mez. (Lauraceae). **Conservation Genetics**, n. 11, p. 965-976, 2011.

THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M.B.; SYKES, M.T.; PRENTICE, C.I. Climate change threats to plant diversity in Europe. **PNAS**, v. 102, n. 23, p. 8245-8250, 2005.

TOZONI-REIS, M. F. C. Temas ambientais como “temas geradores”: Contribuições para uma metodologia educativa ambiental crítica, transformadora e emancipatória. **Educar**, n. 27, p. 93-110, 2006.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica: SUPREN, 1974. 91 p.

TROPMAIR, H. **Perfil fitoecológico do estado do Paraná**. Boletim de Geografia – UEM – n. 1, ano 8, 1990.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e os impactos sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Climate Change Science Compendium: Earth's ecosystem**. 2009. Disponível em: <<http://www.unep.org/climatechange/Science.aspx>>. Acesso em: 03/05/2014.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Changes. **Green Climate Fund, 2011**. Disponível em: <[http://unfccc.int/files/meetings/durban\\_nov\\_2011/decisions/application/pdf/cop17\\_gcf.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/durban_nov_2011/decisions/application/pdf/cop17_gcf.pdf)>. Acessado em: 10/03/2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Kyoto Protocol**. Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)>. Acesso em: 17/05/2014.

VIADANA, A.G.; CAVALCANTI, A.P.B. A teoria dos refúgios florestais aplicada ao Estado de São Paulo. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 8/9, n.1, p. 61-80, 2007.

VIANA, P.C.; OLIVEIRA, J.B.; ARAÚJO, E.M.; CARMO, F.F.; PEREIRA, M.M.; ALVES, A.S. Análise da espacialização da temperatura do ar mínima para o estado do Ceará a partir de dados SRTM. In: INOVAGRI/IV WINOTEC – Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2012, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INOVAGRI International Meeting, 2012.

VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M.; ÁVILA, L.F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

VIRGENS FILHO, J.S. **Modelo computacional para simulação de dados climáticos**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 1997.

VIRGENS FILHO, J.S. **Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade**. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2001.

VIRGENS FILHO, J.S.; LEITE, M.L.; CATANEO, A. Avaliação de três geradores de dados climáticos na simulação da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 196-209, 2006.

VIRGENS FILHO, J.S.; LEITE, M.L. Cenários climáticos simulados para a região fitogeográfica dos campos gerais do Paraná. In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, 2010. Não paginado.

VIRGENS FILHO, J.S.; OLIVEIRA, R.B.; LEITE, M.L.; TSUKAHARA, R.Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA\_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades no estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 3, p. 538-547, 2013.

VIRGENS FILHO, J.S.; LEITE, M.L.; GOBBO, B.L.D.; POBB, K.; FRUTEIRA, R.S. Analysis of the accuracy of daily series of global solar radiation simulated by the weather generator PGECLIMA\_R, in the state of Parana, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 180-192, 2014.

VOLPATO, M.M.L.; ALVES, H.M.A.; VIEIRA, T.G.C.; Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia. **Informe Agropecuário**, n. 246, v. 29, p. 1-10, 2008.

VONHOF, H.B.; KAANDORP, R.J.G. **Climate variation in Amazonia during the Neogene and the Quaternary**. In: Hoorn C and Wesselingh F (Ed.). Amazonia, Landscape and Species Evolution: a look into the past. Blackwell Publishing. p. 201-210. 2010.

VOS, C.C.; BERRY, P.; OPDAM, P.; BAVECO, H.; NIJIHOF, B.; O'HANLEY, J.; BELL, C.; KUIPERS, H. Adapting landscape to climate change: examples of climate-

proof ecosystem networks and priority adaptation zones. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, p. 1722-1731, 2008.

WANDERLEY, H.S.; FERNNADES, R.C.; AMORIM, R.F.C.; CARVALHO, F.O. Interpolação da temperatura pelo método de krigagem para o Estado do Alagoas. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2009. Não paginado.

WATZLAWICK, L. F. **Estimativa de biomassa e carbono em Floresta Ombrófila Mista e plantações florestais a partir de dados de imagens de satélite Ikonos II**. 118 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C.R.; VALÉRIO, A.F.; SILVESTRE, R. Caracterização da composição florística e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, no município de General Carneiro (PR). **Ambiência**, v. 1, n. 2, p. 229-237, 2005.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. 2014. Disponível em:  
<<http://www.wbcsdservers.org/web/wbcsdfiles/ForestSolutions/Infographic/FOREST-INFOGRAPHICPortuguese.pdf>>, Acessado em: 25/11/2014.

WEBER, K.S. **Manejo da Bracatinga (*Mimosa scabrella*) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais**. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

WESCHE, S.; KIRBY, K.; GHAZOUL, J. Plant assemblages in British beech woodlands within and beyond native range: implications of future climate change for their conservation. **Forest Ecology and Management**, n. 236, p. 385–392, 2006.

WMO. **World Meteorological Organization**. A decade of Climate Extremes, Summary Report. WMO, n. 119, 2013, 8 p.

WREGGE, M.S.; HIGA, R.C.V.; BRITEZ, R.M.; GARRASTAZU, M.C.; SOUSA, V.A.; CARAMORI, P.H.; RADIN, B.; BRAGA, H.J. Climate Change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Unasylva**, v. 60, p. 30-33, 2009.

XAVIER, A.C.; CECÍLIO, R.A.; LIMA, J.S.S. Módulo em matlab para interpolação espacial pelo método de Krigagem Ordinária e do Inverso da Distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, v. 1, p. 67-76, 2010.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística conceitos e aplicações**. São Paulo: Editora Oficinas de Textos, 2013, 195 p.

ZILLER, S. R. **A estepe Gramíneo-Lenhosa no Segundo Planalto do Paraná: Diagnóstico Ambiental com Enfoque à Contaminação Biológica**. 2000. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.